



# **Opbrengst en oogstzekerheid van voedergewassen bij beregenningsverboden**

**Simulatieverkenningen**

C. Grashoff, H.F.M. Aarts & H.G. Smid

**ab-dlo**

## **DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO)**

AB-DLO doet onderzoek ter bevordering van de kwaliteit en duurzaamheid van plantaardige systemen. Het instituut ontwikkelt en levert expertise ten behoeve van land- en tuinbouw, inrichters van de groene ruimte, industrieën en overheden. Het onderzoek is onderverdeeld in drie productgroepen/thema's.

### *Plantaardige productie en productkwaliteit*

- Geïntegreerde en biologische productiesystemen
- Onkruidbeheersingssystemen
- Precisielandbouw
- Groene grondstoffen en inhoudsstoffen
- Innovatie glastuinbouw
- Kwaliteit van plant, gewas en product

### *Bodem - plant - milieu*

- Bodem- en luchtkwaliteit
- Klimaatverandering
- Biodiversiteit
- Milieuvreemde stoffen en bodem- en gewaskwaliteit

### *Multifunctioneel en duurzaam landgebruik*

- Nutriëntenmanagement
- Rurale ontwikkeling en voedselzekerheid
- Agro-ecologische zonering
- Multifunctionele landbouw
- Agrarisch natuurbeheer

AB-DLO beschikt over unieke expertise op het gebied van plantenfysiologie, gewasecologie, vegetatiekunde, bodemchemie en -ecologie en systeemanalyse.

AB-DLO verricht onderzoek met behulp van geavanceerde onderzoeksfaciliteiten (laboratoria, klimaatruimten met mogelijkheden voor boven- en ondergrondse metingen, computer-beeldverwerking, mobiele apparatuur voor meting van de lichtbenutting van gewassen en vegetaties, proefbedrijven, enz.).

Adres	: Bornsesteeg 65, Wageningen
	: Postbus 14, 6700 AA Wageningen
Telefoon	: 0317.475700
Telefax	: 0317.423110
E-mail	: <a href="mailto:postkamer@ab.dlo.nl">postkamer@ab.dlo.nl</a>
Internet	: <a href="http://www.ab.dlo.nl/">http://www.ab.dlo.nl/</a>

# Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding	3
1.1. Waarom onderzoek naar waterbehoefte gewassen?	3
1.2. Vragen	4
2. Materiaal en methoden	5
2.1. Het basismodel	5
2.1.1. Algemeen	5
2.1.2. Gewasgroei onder optimale vochtvoorziening	5
2.1.3. Bodemwaterbalans	6
2.1.4. Effecten van watertekort op gewasgroei	6
2.2. Werkwijze	6
2.2.1. Aanpassing en toetsing van modellen	6
2.2.2. Simulaties voor vijf karakteristieke weerjaren	7
2.2.3. Simulatieverkenningen over 33 jaren	8
3. Resultaten	9
3.1. Aanpassing en toetsing van modellen	9
3.2. Simulaties voor vijf karakteristieke weerjaren	14
3.3. Simulatieverkenningen over 33 jaren	16
4. Conclusies	19
4.1. Wat betekenen de resultaten voor de praktijk?	19
5. Referenties	21
Bijlage 1. Gesimuleerde opbrengsten 33 jaren	I-1
B1.1. Engels raaigras, standaard worteldiepte. Opbrengsten 33 jaren	I-1
B1.2. Engels raaigras, optie diep wortelend. Opbrengsten 33 jaren	I-2
B1.3. Rietzwenkgras, standaard worteldiepte. Opbrengsten 33 jaren	I-3
B1.4. Rietzwenkgras, optie diep wortelend. Opbrengsten 33 jaren	I-4
B1.5. Maïs. Opbrengsten 33 jaren	I-5
B1.6. Bieten. Opbrengsten 33 jaren	I-6
B1.7. Luzerne, versie eerstejaars. Opbrengsten 33 jaren	I-7
B1.8. Luzerne, versie meerjarig. Opbrengsten 33 jaren	I-8
B1.9. Triticale plus nateelt Italiaans raaigras. Opbrengsten 33 jaren	I-9

vervolg: zie volgende pagina ⇒

<b>Bijlage 2. Modellen-listings</b>	<b>II-1</b>
B2.1 Volledige model-listing voor Engels raaigras	II-1
B2.2 Aanpassingen voor rietzwenkgras	II-7
B2.3 Aanpassingen voor maïs	II-7
B2.4 Aanpassingen voor triticale	II-8
B2.5 Aanpassingen voor voederbiet	II-10
B2.6 Aanpassingen voor luzerne	II-11
<b>Bijlage 3. Verklarende acroniemenlijst</b>	<b>III-1</b>

# Samenvatting

De vraag naar grondwater voor landbouwdoeleinden (berekening ten behoeve van voederproductie) enerzijds en drinkwaterbereiding en andere hoogwaardige toepassingen anderzijds neemt nog steeds toe. Bovendien wil de overheid verdroging van natuurgebieden tegengaan. Het beleid is er dan ook op gericht om kunstmatige beregening (vanuit grondwater) voor voederproductie te beperken tot het meest noodzakelijke. Onduidelijk is hoe groot de verschillen zijn tussen voedergewassen met betrekking tot vochtbehoefte en droogtegevoeligheid. Kennis daarvan is van belang in een situatie dat vochtbeschikbaarheid niet meer vanzelfsprekend is.

In de jaren 1994-1996 zijn door PAV, PR, SC-DLO en AB-DLO experimenten uitgevoerd waarin gewassen onderling werden vergeleken ten aanzien van waterverbruik en droogtetolerantie. De financiers van het onderzoek waren: het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, het landbouwbedrijfsleven uit de akkerbouw- en veehouderijsector, en de provincies Noord-Brabant en Limburg. Het onderzoek betrof:

- a) droogteproeven met zes voedergewassen onder semi-geconditioneerde omstandigheden in Wageningen,
- b) veldproeven in De Kempen,
- c) verkenningen van de effecten van beregeningsverboden met behulp van gewasgroeisimulatiemodellen,
- d) bedrijfseconomische verkenningen, op basis van de gewasproductie-uitkomsten van onderdeel 'c', en
- e) verkenningen van de effecten van gewassenkeuze op de regionale hydrologie.

*Dit deelrapport behandelt onderdeel 'c': verkenningen van de effecten van beregeningsverboden met behulp van gewasgroeisimulatiemodellen.* Na een korte schets van het probleem wordt aangegeven hoe de verkenningen werden aangepakt. Een algemeen gewasgroeimodel (LINTUL) werd geparametriseerd voor de gewassen Engels raaigras, rietzwenkgras, maïs, triticale plus nateelt Italiaans raaigras, voederbiet en luzerne, met gegevens uit de literatuur en uit de proeven onder geconditioneerde omstandigheden. Vervolgens werden de modelresultaten getoetst aan de veldproeven, waarna de modellen nog in beperkte mate werden gekalibreerd. Deze 'fijnregeling' werd zo uitgevoerd dat met één set gewasparameters de gehele set aan veldproeven (drie weerjaren op twee bodemtypen) zo goed mogelijk werd gesimuleerd. Vervolgens werden met deze modellen verkenningen uitgevoerd voor vijf karakteristieke weerjaren: 1976 (zeer droog), 1992 (normaal), 1995 (voorjaar nat, hoogseizoen droog), 1996 (voorjaar droog, hoogseizoen nat), 1987 (gehele groeiseizoen nat) op drie zandbodemtypen met doorwortelbare profielen van resp. 40, 60 en 90 cm. Tenslotte werden de gemiddelde opbrengst en standaardafwijking (SD = maat voor oogstzekerheid) verkend voor 33 recente jaren op deze drie bodemtypen.

De modelverkenningen maken duidelijk dat beperkingen in beregeningsmogelijkheden op zandgronden leiden tot lagere opbrengsten. Gras en luzerne hebben weliswaar een hoge transpiratiecoëfficiënt (350-600 l kg<sup>-1</sup> oogstbare drogestof), waardoor ze water weinig efficiënt benutten, maar ze hebben ook een lang groeiseizoen waardoor ze van een grotere hoeveelheid natuurlijke neerslag kunnen profiteren dan bijvoorbeeld maïs. Op de droogste zandgronden (40 cm doorwortelbaar profiel) is gras (met een gemiddelde opbrengst over 33 jaar van 10,6 t ha<sup>-1</sup>

met een SD van  $1,8 \text{ t ha}^{-1}$ ) oogstzekerder dan maïs (gemiddelde opbrengst  $10,6 \text{ t ha}^{-1}$ , SD  $2,3 \text{ t ha}^{-1}$ ). Maïs gaat weliswaar efficiënt om met water (de transpiratiecoëfficiënt is circa  $170 \text{ l kg}^{-1}$ ), maar is droogtegevoelig en groeit in een periode dat de kans op droogte relatief groot is. Op wat minder droogtegevoelige zandgronden (90 cm doorwortelbaar profiel) is maïs (met een gemiddelde opbrengst van  $13 \text{ t ha}^{-1}$  met een SD van  $1,6 \text{ t ha}^{-1}$ ) productiever dan gras (gemiddelde opbrengst  $11,9 \text{ t ha}^{-1}$  met een SD van  $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ ). Luzerne is alleen maar aantrekkelijk op de gronden waar een diepe beworteling mogelijk is. In het algemeen zijn dat de wat minder droogtegevoelige gronden. Zeker bij een volledig beregeningsverbod lijkt triticale interessant omdat dit gewas al vroeg afrijpt en hoge gemiddelde opbrengsten geeft ( $14\text{-}18 \text{ t ha}^{-1}$ , afhankelijk van het type zandgrond), weliswaar met een wat grotere oogstonzekerheid (een SD van circa  $3 \text{ t ha}^{-1}$ ).

# 1. Inleiding

## 1.1. Waarom onderzoek naar waterbehoefte gewassen?

Planten hebben water nodig. Hoewel water ook een rol speelt bij de fotosynthese - de vorming van suikers uit water en  $\text{CO}_2$  met behulp van zonlicht - wordt het uit de bodem opgenomen water vrijwel uitsluitend gebruikt voor transpiratie door het gewas. Dat wil zeggen dat door verdamping het water aan de lucht wordt afgestaan. Verdamping van water zorgt voor afkoeling omdat dit proces energie kost. Koeling is nodig omdat anders de temperatuur in de bladeren zo hoog kan worden dat het gewas fysiologisch onregelmatig raakt. Het verdampte water wordt aangevuld met bodemvocht, waardoor opgeloste voedingsstoffen uit de bodem naar de bladeren worden gezogen. Ook kan er water vanaf het bodemoppervlak verdampen (evaporatie), maar in verhouding tot de transpiratie door het gewas is die hoeveelheid bij zandgrond - gerekend over een heel groeiseizoen - zeer gering. Als in dit hoofdstuk over verdamping wordt gesproken wordt steeds de totale verdamping bedoeld, dus de verdamping vanaf het bodemoppervlak (evaporatie) plus de verdamping door het gewas (transpiratie). Deze som van evaporatie en transpiratie wordt ook vaak evapotranspiratie genoemd.

Verbeterde landbouwkundige kennis heeft ertoe geleid dat het nu mogelijk is hoge opbrengsten te halen van Engels raaigras en maïs, de gewassen waarop de ruwvoedervoorziening van de melkveehouderij is gebaseerd. Hogere opbrengsten vergen in de regel meer water. De laatste decennia is de natuurlijke vochtvoorziening in de zandgebieden echter afgenomen. Oude vochthoudende cultuurgronden zijn ten prooi gevallen aan stadsuitbreiding en bij de droogtegevoelige ontginningsgronden is sprake van een aanzienlijke grondwaterstands daling - vooral als gevolg van versnelde afvoer van neerslag en de onttrekking van grondwater - waardoor capillaire nalevering van water nauwelijks meer telt. De meeste bedrijven met drogere zandgrond beschikken daarom over een beregeningsinstallatie, om perioden met een tekort aan natuurlijke neerslag te overbruggen. Nauwkeurige registratie van beregening op het melkveebedrijf De Marke wees uit dat jaarlijks gemiddeld 100 mm beregeningswater nodig is op grasland, op maïsland 20 mm. Voor een bedrijf met 20 ha grasland en 10 ha maïs komt dat neer op een grondwateronttrekking die gelijk is aan de waterbehoefte van zo'n 100 gezinnen.

De vraag naar grondwater voor drinkwaterbereiding en andere hoogwaardige toepassingen neemt nog steeds toe. Bovendien wil de overheid verdroging van natuurgebieden tegengaan. Het beleid is er dan ook op gericht kunstmatige beregening uit grondwater te beperken tot het meest noodzakelijke. Onduidelijk is hoe groot de verschillen zijn tussen voedergewassen met betrekking tot vochtbehoefte en droogtegevoeligheid. Kennis daarvan is van belang in een situatie dat vochtbeschikbaarheid niet meer vanzelfsprekend is.

## 1.2. Vragen

Het waterverbruik van gewassen is in het verleden weliswaar meerdere malen experimenteel onderzocht, maar zelden werden gewassen in die experimenten gelijktijdig geteeld. Omdat bekend is dat de (weers)omstandigheden het waterverbruik kunnen beïnvloeden is vergelijking van het waterverbruik van verschillende gewassen dan problematisch. Onder meer als gevolg van vragen die door het bedrijfssysteem De Marke werden opgeroepen zijn in de jaren 1994-1996 door PAV, PR, SC-DLO en AB-DLO experimenten uitgevoerd waarin gewassen onderling werden vergeleken ten aanzien van waterverbruik en droogtetolerantie. Het betrof zowel veldproeven in Gastel en Leende als proeven onder geconditioneerde omstandigheden in Wageningen. De experimenten in Wageningen richtten zich op de volgende vragen:

- hoeveel water verbruiken gewassen voor de productie van één kg oogstbare drogestof bij een optimale vochtvoorziening en bij beperkte vochtvoorziening?
- hoe sterk wordt de vochtopname beperkt als de grond uitdroogt?
- hoeveel schade veroorzaakt droogte?

Heldere antwoorden op deze vragen waren nodig om gewasmodellen aan te kunnen passen zodat ze bruikbaar zouden zijn voor verkenningen van gewasproducties bij beregeningsverboden. Met de aangepaste modellen werd berekend wat de productie van verschillende gewassen zou zijn geweest als ze de afgelopen 30 jaar zouden zijn geteeld. Dat gebeurde bij verschillende bodemomstandigheden. De resultaten leidden niet alleen tot inzicht in de gemiddelde opbrengst maar ook in de spreiding van de opbrengst, en daarmee in inzicht in oogstzekerheid. Deze resultaten werden op hun beurt weer gebruikt als basis voor verkenningen van de gewassenkeuze op de bedrijfseconomie en op de regionale hydrologie. De provincies Noord-Brabant en Limburg waren medefinanciers van dit onderzoek. Hierdoor werd het mogelijk om op de proefvelden in De Kempen de effecten van droogte intensief te bestuderen zodat datasets werden verkregen die de toetsing van gewasproductiemodellen mogelijk maakten. Het belangrijkste deel van de kosten werd door de reguliere financiers van de deelnemende onderzoeksinstituten gedragen, namelijk het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij en het landbouwbedrijfsleven uit de akkerbouw- en veehouderijsector als financiers van het praktijkonderzoek.

Dit rapport behandelt het deelonderzoek 'aanpassing van gewasgroeimodellen en simulatieverkenningen van gewasproductie bij beregeningsverboden'. Het totale pakket aan deelonderzoeken bestond uit:

- a) droogteproeven met zes voedergewassen onder semi-geconditioneerde omstandigheden in Wageningen, (Smid *et al.*, 1998),
- b) veldproeven in De Kempen, (Schans *et al.*, 1998),
- c) verkenningen van de effecten van beregeningsverboden met behulp van gewasgroeisimulatiemodellen, (dit rapport),
- d) bedrijfseconomische verkenningen, op basis van de gewasproductie-uitkomsten van onderdeel 'c', (Nijssen & Schreuder, 1998),
- e) verkenningen van de effecten van gewassenkeuze op de regionale hydrologie (Stolte *et al.*, 1998).



## 2. Materiaal en methoden

### 2.1. Het basismodel

#### 2.1.1. Algemeen

Als basis voor de gewasgroeisimulaties is het model LINTUL gekozen, zoals beschreven door Spitters & Schapendonk (1990), omdat dit model een relatief eenvoudige structuur heeft en redelijk robuust is, dat wil zeggen niet extreem gevoelig voor kleine onnauwkeurigheden in de gemeten gewasparameters. De onderstaande modelbeschrijving is gebaseerd op de publicatie van Spitters & Schapendonk (1990).

#### 2.1.2. Gewasgroei onder optimale vochtvoorziening

In LINTUL wordt de straling (PARINT) die op een bepaalde dag ('dag  $a$ ') door het gewas wordt onderschept volgens een standaardformule berekend uit de straling op dag  $a$  zoals gemeten op het dichtstbijzijnde weerstation en de bebladeringsindex (LAI) van het gewas op die dag  $a$ . Het hart van het LINTUL-model is vervolgens de berekening van de drogestofproductie op dag  $a$  op basis van PARINT en de lichtbenuttingsefficiëntie volgens de formule:

$$GTW = LUE * PARINT$$

waarin:

GTW = dagelijkse drogestofgroei van het gewas (in g m<sup>-2</sup>)

LUE = lichtbenuttingsefficiëntie (g drogestof / MJ onderschepte straling)

PARINT = onderschepte straling (in MJ m<sup>-2</sup>).

De dagelijkse drogestofgroei (GTW) wordt vervolgens verdeeld over de gewasonderdelen volgens gewasspecifieke verdelingsformules. Het deel dat naar de bladeren gaat wordt tevens gebruikt voor de berekening van de nieuwe bebladeringsindex op de volgende dag ('dag ( $a+1$ )'). Hiermee wordt weer de onderschepte straling op dag ( $a+1$ ) berekend etc., etc., waarmee de essentiële simulatielus rond is. Voor het simuleren van de gewasgroei en ontwikkeling gedurende een geheel groeiseizoen is om deze kernberekening heen nog een aantal aanvullende berekeningen nodig. Hierbij wordt gebruik gemaakt van gewasspecifieke eigenschappen zoals startwaarden (bijvoorbeeld de gemeten LAI bij opkomst), morfologische kenmerken (zoals de specifieke bladoppervlakte (bladoppervlakte per eenheid van bladdrooggewicht) en ontwikkeling en afsterving van het gewas onder invloed van temperatuur en (eventueel) droogte. Voor meer gedetailleerde beschrijvingen van deze zaken wordt hier volstaan met verwijzing naar de standaardpublicaties op dit gebied (onder meer Spitters *et al.*, 1989).

### 2.1.3. Bodemwaterbalans

Aan dit basismodel is een eenvoudige bodemwaterbalans gekoppeld, gebaseerd op het werk van Van Keulen (1975, 1986) en van Spitters (1989). De dagelijkse verandering in bodemvocht in de doorwortelde bodemzone wordt berekend uit regenval, gewastranspiratie, bodemevaporatie en percolatie naar bodemlagen onder de wortelzone. De percolatie wordt berekend uit de hoeveelheid water boven veldcapaciteit, die weglekt naar onder de wortelzone. De potentiële transpiratie en evaporatie zijn gerelateerd aan de referentieverdamping van een korte grasmat, zoals berekend met de 'Makkink-formule' (Makkink, 1957; De Bruin, 1987) met behulp van de dagelijkse straling en temperatuur, en de stralingsonderschepping door het bladerdek.

### 2.1.4. Effecten van watertekort op gewasgroei

Wanneer de bodem uitdroogt, sluiten de huidmondjes waardoor de transpiratie verminderd wordt. De verhouding tussen actuele transpiratie (TRA) en potentiële transpiratie (TRP), TRA/TRP, ook wel de relatieve transpiratie genoemd, daalt rechtlijnig vanaf de waarde 1 bij een kritieke 'zuigspanning van de grond' (SMCR), tot de waarde 0 bij het permanent verwelkingspunt PWP (Feddes *et al.*, 1978). Voor de meeste landbouwgewassen ligt de waarde voor SMCR rond pF 2,8, enigszins afhankelijk van de verdampingsvraag en de grondsoort. De waarde voor PWP ligt doorgaans bij pF 4,2. Kernpunt van de modellering van het effect van watertekort op gewasgroei is het feit dat de berekende gewasgroei GTW onder droogte wordt verminderd door middel van de relatieve transpiratie (TRA/TRP) volgens:

$$GTW = LUE * PARINT * (TRA/TRP)$$

Naast dit algemeen geldige effect van de relatieve transpiratie (TRA/TRP) op de drogestofproductie, kan TRA/TRP ook een effect hebben op de ontwikkelingssnelheid van een gewas, op de drogestofverdeling binnen een gewas en op de afstervingsnelheid van specifieke organen (met name bladafsterving). Deze effecten zijn sterk afhankelijk van de gewassoort en moeten daarom voor elk gewas afzonderlijk worden vastgesteld en gekwantificeerd.

## 2.2. Werkwijze

### 2.2.1. Aanpassing en toetsing van modellen

De in de bakkenproeven gevonden fysiologische verschillen tussen de zes voedergewassen - de gewasspecifieke parameters - werden ingebouwd in een simulatiemodel voor gewasgroei, waar nodig aangevuld met literatuurgegevens. Als **eerste stap** in dit proces werden uit de literatuur zoveel als mogelijk de gewasspecifieke gegevens verzameld over:

- eigenschappen van de begingroei (bijvoorbeeld de gemeten LAI bij opkomst), morfologische kenmerken, waaronder met name de specifieke bladoppervlakte (bladoppervlakte per eenheid van bladdrooggewicht),
- de ontwikkeling van het gewas onder invloed van temperatuur,

- de verdeling van drogestof over de verschillende plantonderdelen (blad, stengel, opslagorganen, wortels) en
- de afsterving van het gewas onder invloed van temperatuur.

Hierbij is onder meer gebruik gemaakt van rapporten en publicaties van Van Heemst (1988), Sibma & Ennik (1988) en Boons-Prins *et al.* (1993).

Als **tweede stap** werden de gemeten gewasspecifieke kenmerken uit de experimenten onder geconditioneerde omstandigheden (de 'Klein Gastel'-experimenten, zie Smid *et al.*, 1998) ingebracht in, dan wel vertaald naar de modellen. Dit betrof met name:

- de reactie van de gewassen op uitdrogende grond, en
- gewasverschillen in watergebruik.

Als **derde stap** werden ten behoeve van de validatieruns met de modellen de weers- en bodemgegevens verzameld uit de PR/PAV-experimenten te Leende en Gastel in 1994-1996 (Van der Schans *et al.*, 1998). Dit betrof:

- regenval, maximum- en minimumtemperaturen gemeten op 'Cranendonk',
- straling, gemeten op KNMI-station Eindhoven, en
- opkomstdata van de voedergewassen te Gastel en Leende.

De uitkomsten van het model werden vervolgens getoetst aan de resultaten van de veldproeven in Leende en Gastel, waarna het model in **stap 4** werd 'fijngeregeld'. Hierbij werd per gewas één set gewasparameters vastgesteld, waarmee simulatieresultaten werden bereikt die zo goed mogelijk overeenkwamen met de resultaten van de totale set veldproeven.

### 2.2.2. Simulaties voor vijf karakteristieke weerjaren

Nadat gebleken was dat het model over het algemeen de grote jaar-, bodem- en gewasverschillen in gemeten drogestofproductie goed kon nabootsen is geconcludeerd dat het verantwoord was om modelverkenningen uit te voeren voor de gewasproductie in een groot aantal jaren en bij verschillende bodemtypen binnen de zandgronden. In de eerste plaats werd de gewasproductie gesimuleerd voor vijf karakteristieke weerjaren en drie karakteristieke bodemtypen. De weerjaren waren:

- 1976 (een zeer droog groeiseizoen),
- 1992 (een min of meer normaal jaar),
- 1995 (een nat voorjaar en een droge zomer),
- 1996 (een droog voorjaar en een regenachtige zomer),
- 1987 (een uitgesproken nat groeiseizoen).

De bodemtypen waren:

- (a) een podzol met circa 40 cm doorwortelbaar profiel en een waterbergend vermogen van circa 50 mm,
- (b) een podzol met circa 60 cm doorwortelbaar profiel en circa 75 mm waterbergend vermogen, en
- (c) een esgrond met circa 90 cm doorwortelbaar profiel en circa 150 mm waterbergend vermogen.

De doorwortelbare profielen gelden voor akkerbouwgewassen. Voor de grassen werden, op basis van informatie van het praktijkonderzoek, aanzienlijk lagere doorwortelbare diepten aangenomen.

### 2.2.3. Simulatieverkenningen over 33 jaren

Tenslotte werden met de aldus verkregen modellen voor de zes voedergewassen simulaties gemaakt met 33 weerjaren (1958-1988, 1994-1996) voor de drie bovengenoemde bodemtypen.

## 3. Resultaten

### 3.1. Aanpassing en toetsing van modellen

Een eerste serie simulatieruns met de modellen aangepast tot en met **stap 3** werd uitgevoerd voor Gastel en Leende. Vergelijking met de gemeten opbrengsten gaf het beeld dat de variaties in opbrengst van jaar tot jaar en tussen Gastel en Leende in het algemeen al redelijk werden gesimuleerd, maar dat de gesimuleerde opbrengstniveaus te wensen overlieten. Op basis van algemene kennis van de gewassen werd daarom in de eerder vermelde **stap 4** een aantal 'fijnregelingen' aangebracht.

Deze laatste ingrepen in het basismodel van Spitters & Schapendonk (1990) zijn per gewas hieronder kort weergegeven. Doel van deze ingrepen was om per gewas **één set gewasparameters** vast te stellen, waarmee simulatieresultaten werden bereikt die zo goed mogelijk overeenkwamen met de resultaten van de **totale set veldproeven (drie weerjaren op twee grondsoorten)**. Deze werkwijze voorkomt het gevaar dat voor iedere incidentele, afzonderlijke situatie 'toegewerkt zou worden' naar een geforceerde overeenkomst tussen simulatie en gemeten waarden.

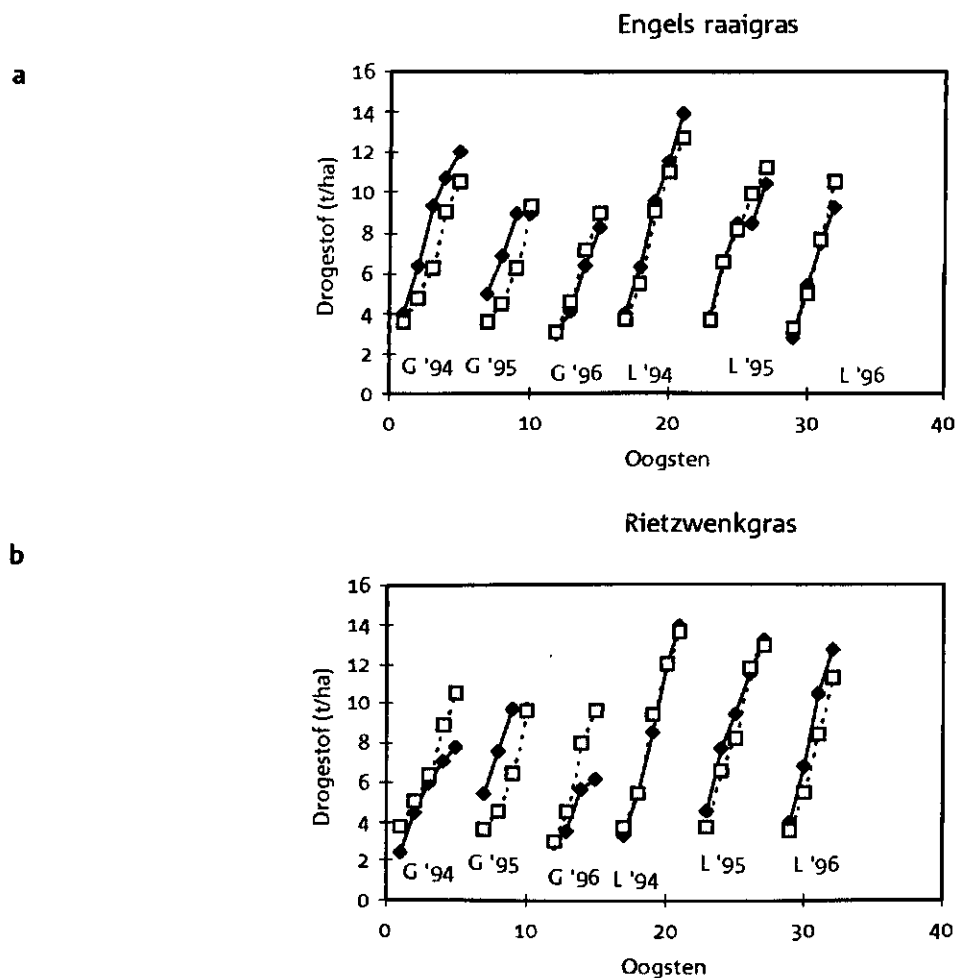
- *Engels raaigras*  
Dit model draaide met de standaardsettings al vrij goed. Er is alleen een aanpassing gemaakt in de parameter die de afsterving van bladeren door overschaduwning aanstuurt. De volledige model-listing is weergegeven in bijlage 2.1; de verklarende acroniemenlijst is weergegeven in bijlage 3.
- *Rietzwenkgras (RZ)*  
Volgens informatie van het PR wortelt rietzwenkgras iets dieper dan Engels raaigras. Verder sterft het bladoppervlak van RZ wat minder snel af bij droogte. Alle aanpassingen (na parametrisatie en kalibratie) voor rietzwenkgras t.o.v. het Engels-raaigras-model zijn weergegeven in bijlage 2.2.
- *Maïs*  
Bijstellingen hebben hoofdzakelijk betrekking op de drogestofverdeling naar de kolf, onder invloed van droogte. Verder is opgenomen dat het gewas wordt geoogst wanneer het groene bladoppervlak nagenoeg geheel is afgestorven. Alle aanpassingen (na parametrisatie en kalibratie) voor maïs t.o.v. het Engels-raaigras-model zijn weergegeven in bijlage 2.3.
- *Voederbiet*  
De afsterving van blad door temperatuur en droogte is gekalibreerd. Verder is aangenomen dat van afstervend bietenblad de helft aan drogestof wordt geredistribueerd naar de levende plant. Alle aanpassingen (na parametrisatie en kalibratie) voor voederbiet t.o.v. het Engels-raaigras-model zijn weergegeven in bijlage 2.5.
- *Luzerne*  
Luzerne was alleen naar behoren te simuleren door aan te nemen dat dit gewas op de betere gronden veel dieper wortelt dan de standaardsetting van circa 0,9 m. Deze

parameter is gesteld op 1,6 m. Verder bleek dat voor meerjarige luzerne een gunstiger drogestofverdeling moest worden aangenomen dan voor eerstejaars luzerne. In de verdere verkenningen is dit aangegeven met luzerne MD. Alle aanpassingen (na parametrisatie en kalibratie) voor luzerne t.o.v. het Engels-raaigras-model zijn weergegeven in bijlage 2.6.

- *Triticale plus nateelt Italiaans raaigras (IR)*

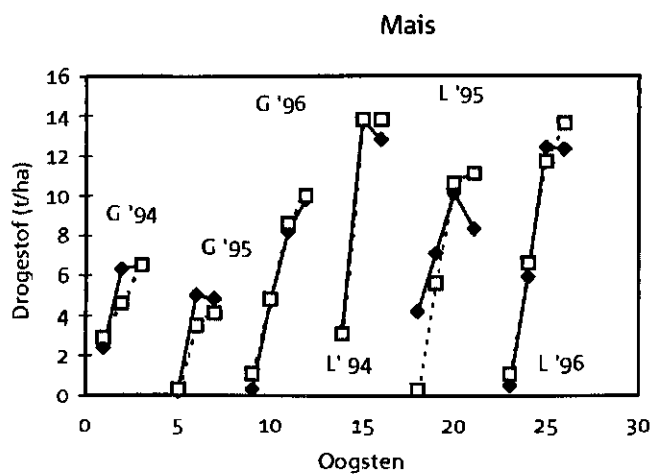
Triticale is geparametriseerd met de gegevens van wintertarwe. De hergroei van het gewas start op 1 januari. Voor een juiste simulatie van het oogsttijdstip (van belang voor het moment waarop de groei van IR kan beginnen) bleek het nodig om het effect van droogte op de ontwikkelingssnelheid van het gewas ('noodrijping') expliciet in het model op te nemen. IR is gesimuleerd met het model voor Engels raaigras. De hergroei van eventueel afgestorven gras door droogte in juli/augustus is bijgesteld. Alle aanpassingen (na parametrisatie en kalibratie) voor triticale t.o.v. het Engels raaigras-model zijn weergegeven in bijlage 2.4.

Een vergelijking van de simulatieresultaten met de veldproefresultaten is voor de zes voeder- gewassen weergegeven in de figuren 1-5.

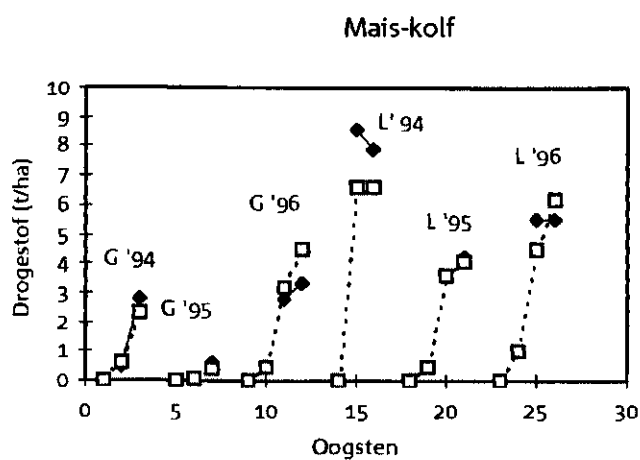


**Figuur 1.** Vergelijking van gemeten oogstbare opbrengsten (—◆—) en gesimuleerde opbrengsten (---□---) van gras voor de PAV/PR-proeven in Gastel (G'94-'96) en Leende (L'94-L'96).  
a: Engels raaigras; b: Rietzwenkgras.

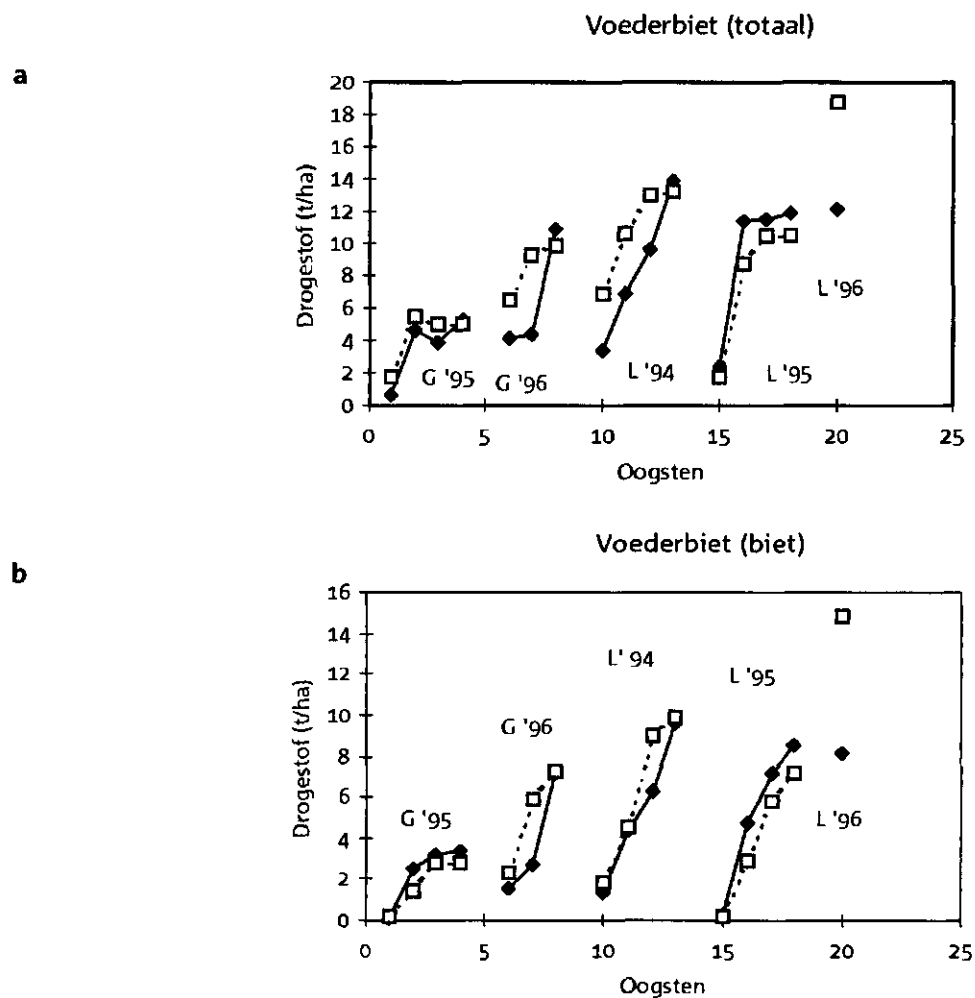
a



b

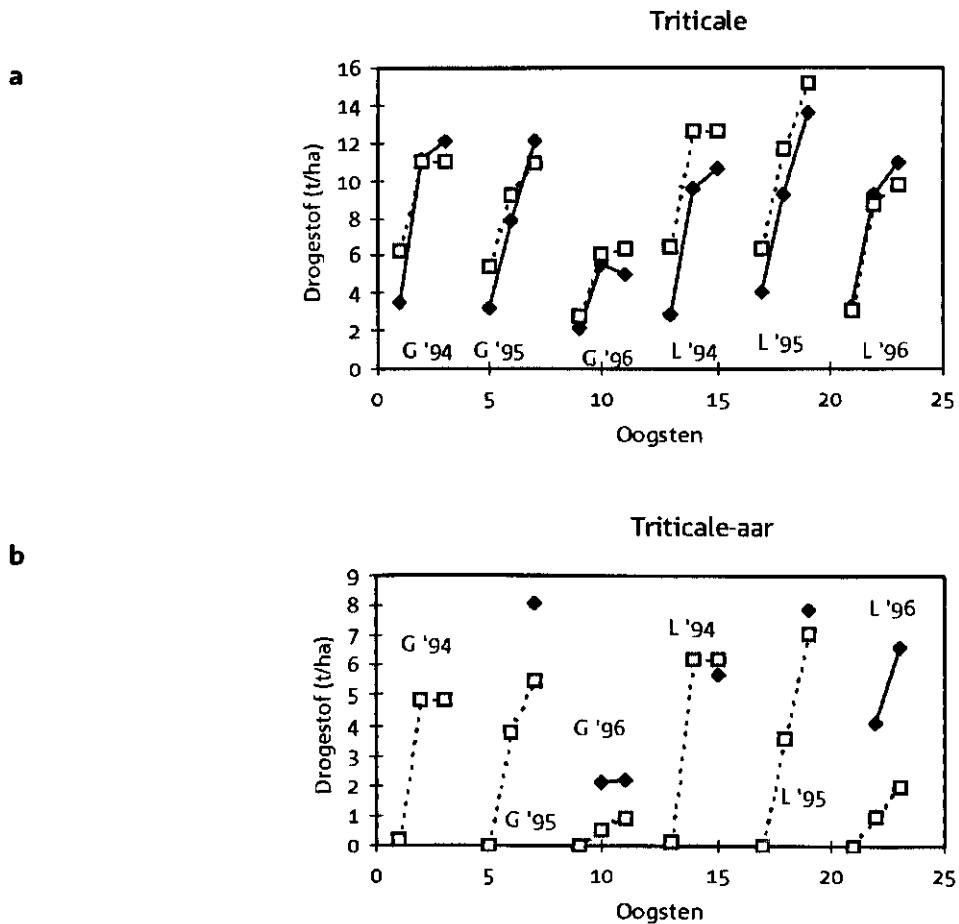


**Figuur 2.** Vergelijking van gemeten opbrengsten (—◆—) en gesimuleerde opbrengsten (---□---) van maïs voor de PAV/PR-proeven in Gastel (G'94-'96) en Leende (L'94-L'96). a: totaal oogstbaar bovengronds; b: kolf.

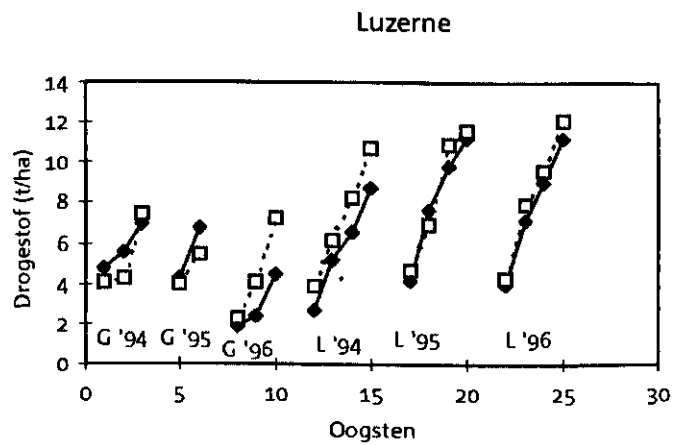


**Figuur 3.** Vergelijking van gemeten opbrengsten (—◆—) en gesimuleerde opbrengsten (---□---) van voederbiet voor de PAV/PR-proeven in Gastel (G'94-'96) en Leende (L'94-L'96). a: totaal oogstbaar; b: biet.





Figuur 4. Vergelijking van gemeten opbrengsten (—◆—) en gesimuleerde opbrengsten (---□---) van triticale voor de PAV/PR-proeven in Gastel (G'94-'96) en Leende (L'94-L'96). a: totaal oogstbaar bovengronds; b: aren.



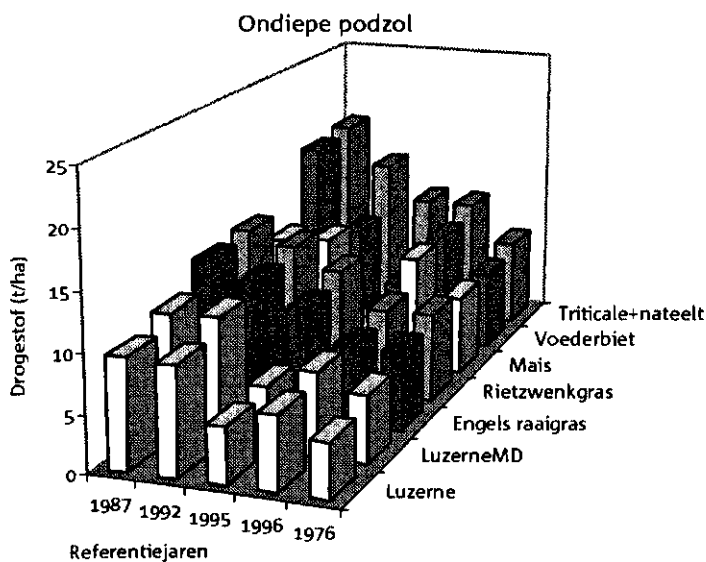
Figuur 5. Vergelijking van gemeten opbrengsten (—◆—) en gesimuleerde opbrengsten (---□---) van luzerne (oogstbaar deel bovengronds) voor de PAV/PR-proeven in Gastel (G'94-'96) en Leende (L'94-L'96).

De overeenkomst tussen modelresultaten en veldmetingen bleek goed, op enkele onderdelen na. Simulatie van de hergroei van gras na zware droogte blijft een aandachtspunt; bij triticale wordt het aandeel aan in de drogestof nog niet correct gesimuleerd en een correcte simulatie van luzerne lukte alleen als (a) voor een 'meerjarig' gewas een gunstiger drogestofverdeling tussen wortels en bovengrondse delen werd aangenomen en (b) voor de esgronden een aanzienlijk grotere worteldiepte werd aangenomen dan één meter. Wortelmetingen dieper dan één meter en metingen aan drogestofverdeling ondergronds/bovengronds zijn echter in het veld niet uitgevoerd. In de verdere modelverkenningen is daarom onderscheid gemaakt tussen 'luzerne' (standaard) en 'luzerneMD' (waarin M voor meerjarig staat en D voor diep wortelend).

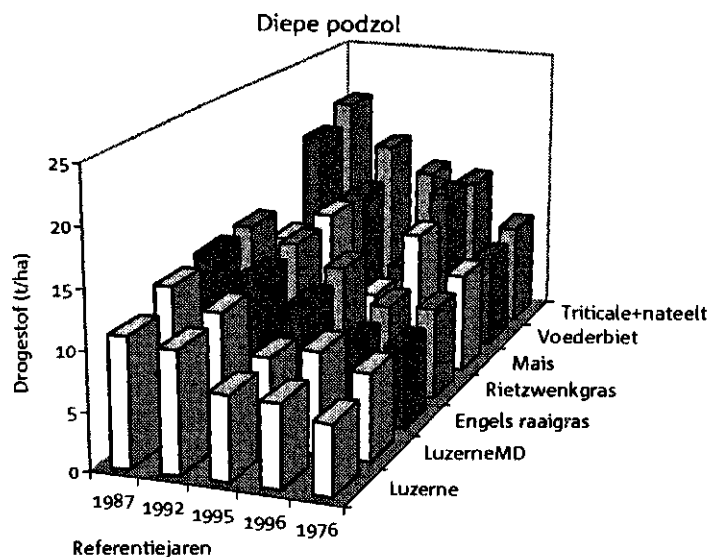
### 3.2. Simulaties voor vijf karakteristieke weerjaren

De resultaten van deze simulaties zijn weergegeven in figuur 6. In vrijwel alle doorgerekende jaar/bodem-combinaties bleek de gesimuleerde productiviteit van triticale plus nateelt Italiaans raaigras het hoogst in vergelijking met de andere vijf gewassen. De beide grassen hadden niet de hoogste gemiddelde opbrengst, maar ze vertoonden wel een betere oogstzekerheid dan de andere vier gewassen. In de situatie met een vochtig voorjaar en een droge hoogzomer hebben vooral voederbiet, maïs en luzerne een lage productiviteit. Dit effect is het duidelijkst op de twee bodemtypen met het laagste waterbergend vermogen. In de droogste jaren is de productiviteit van alle zes gewassen ongeveer even laag. Het bereikte productieniveau wordt in deze jaren vrijwel alleen door het bodemtype bepaald. Alleen op de esgronden vertoont luzerneMD (=meerjarig, dieper wortelend) een relatief gunstig beeld ten opzichte van de grassen, mits de bodemcondities zodanig zijn dat luzerne tot een diepte van circa 1,60 m kan wortelen.

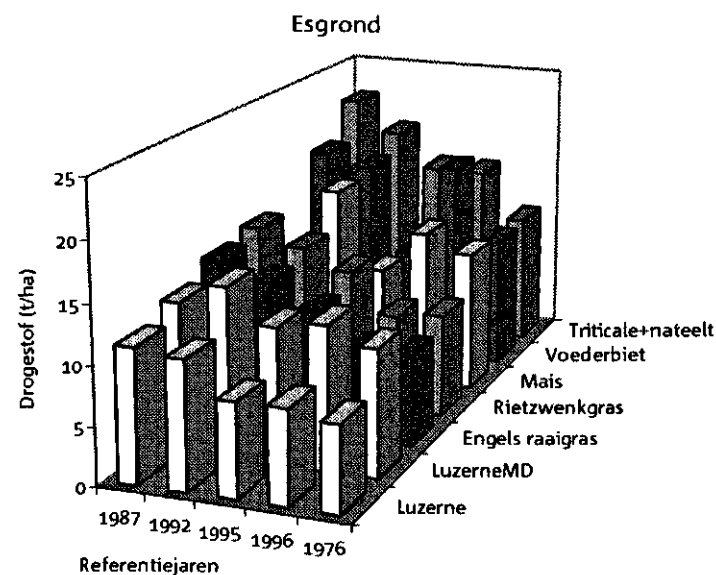
a



b



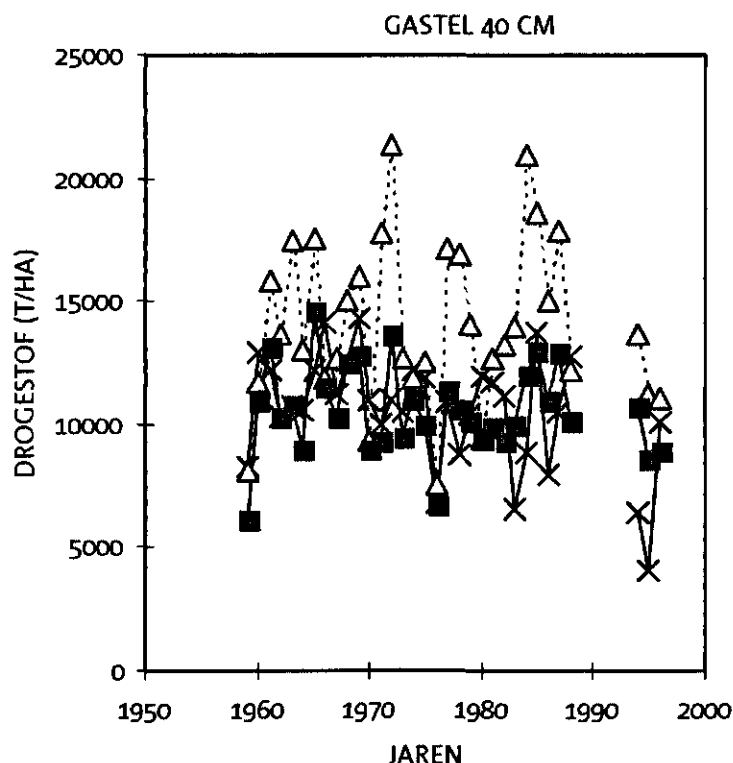
c



Figuur 6. Gesimuleerde gewasproductie voor zes gewassen op drie bodemtypen in de karakteristieke jaren 1976 (droog), 1992 (normaal), 1995 (nat voorjaar, droge zomer), 1996 (droog voorjaar, natte zomer) en 1987 (nat). a: ondiepe podzol; b: diepe podzol; c: esgrond.

### 3.3. Simulatieverkenningen over 33 jaren

Als **voorbeeld** van deze resultaten zijn in figuur 7 voor drie voedergewassen de opbrengsten weergegeven in de tijd. Alle opbrengsten per voedergewas van jaar tot jaar op drie bodemtypen zijn weergegeven in de **bijlagen 1.1-1.9** en samengevat in tabel 1 (waarover hieronder meer).



Figuur 7. De gesimuleerde opbrengsten van drie voedergewassen in 33 jaren op een ondiepe podzol (40 cm doorwortelbaar profiel). —X—: maïs; ---Δ---: triticale plus nateelt Italiaans raagras; —■—: Engels raagras. Vooral in de laatste circa 10 jaren is zichtbaar dat de opbrengst van maïs op deze zeer droge zandgrond variabel is dan die van gras.

Omdat gewasverschillen in oogstzekerheid in de weergave van figuur 7 niet duidelijk tot uiting kunnen komen zijn de algemene resultaten voor de zes voedergewassen weergegeven in tabel 1. De resultaten bevestigen de resultaten van de simulaties over de vijf bovengenoemde karakteristieke jaren. Triticale plus nateelt Italiaans raagras blijkt inderdaad voor alle bodemtypen de hoogste gemiddelde opbrengst te hebben. De variatie in opbrengst van jaar tot jaar is echter hoog in vergelijking met de beide grassen. Ook voederbiet heeft een hoog opbrengst-niveau, maar eveneens een hoge variatie van jaar tot jaar. De beide grassen behoren qua gemiddelde opbrengst over 33 jaar tot de middenmoot. De grassen hebben echter wel de laagste variatie in opbrengst van jaar tot jaar, d.w.z. een gunstige oogstzekerheid. De gemiddelde opbrengst van rietzwenkgras ligt op alle drie de bodemtypen circa 1 t ha<sup>-1</sup> hoger dan die van Engels raagras. Maïs heeft op de droogste zandgronden een grotere oogstzekerheid dan gras (zie ook figuur 7), maar op de diepe esgronden is maïs oogstzekerder, in combinatie met een hogere gemiddelde opbrengst. Luzerne lijkt bij doorwortelbare profielen tot maximaal 90 cm geen goed alternatief te zijn voor de huidige voedergewassen. Luzerne, ook de tweede- en derdejaarsvariant, investeert te veel drogestof in ondergrondse delen.

Tenslotte werd doorgerekend wat het effect zou zijn als grassen even diep zouden wortelen als akkerbouwgewassen, en wat het effect zou zijn van een tot maximaal 160 cm diep wortelende luzerne met een gunstiger drogestofverdeling (hierboven omschreven als luzerneMD). Ook deze resultaten zijn vermeld in tabel 1. Als de grassen dieper zouden (kunnen) wortelen heeft dit op de relatief betere bodemtypen een circa 1,5 t ha<sup>-1</sup> hogere gemiddelde opbrengst tot gevolg, bij gelijk blijvende oogstzekerheid. De doorgerekende variant van luzerne met een dieper wortelstelsel en een iets gunstiger drogestofverdeling blijft op de podzolgronden steken op een lager productieniveau dan de andere gewassen, maar geeft op de esgronden een hogere en meer oogstzekere opbrengst dan de standaardvarianten van de beide grassen.

Tabel 1. Gesimuleerde gemiddelde opbrengsten (oogstbaar gewas) inclusief standaardafwijkingen (maat voor oogstzekerheid) over 33 jaren van zes voedergewassen bij drie bodemtypen.

	Podzol <sup>1)</sup>		<sup>2)</sup>		Esgrond <sup>3)</sup>		Zonder vochttekort	
	ondiep ( tot 40 cm)		diep (tot 60 cm)		(90 cm)			
	Gemidd. opbrengst (t ha <sup>-1</sup> )	SD (t ha <sup>-1</sup> )	Gemidd. opbrengst (t ha <sup>-1</sup> )	SD (t ha <sup>-1</sup> )	Gemidd. opbrengst (t ha <sup>-1</sup> )	SD (t ha <sup>-1</sup> )	Gemidd. opbrengst (t ha <sup>-1</sup> )	SD (t ha <sup>-1</sup> )
Engels raaigras (standaard)	10,6	1,8	11,0	1,9	11,9	2,0	17,1	0,9
Rietzwenkgras (standaard)	11,6	1,8	11,8	1,8	12,9	1,8	17,1	0,9
Maïs	10,6	2,3	11,8	1,9	13,0	1,6	13,9	2,2
Triticale + nateelt	14,0	3,3	16,3	3,3	18,8	2,9	21,8	2,5
Voederbiet	12,9	4,0	14,9	3,8	17,3	3,2	21,3	1,6
Luzerne	8,7	1,7	9,7	1,7	10,9	1,4	13,0	1,0
Engels raaigras (diep)	11,3	2,0	12,2	2,0	13,5	1,9	17,1	0,9
Rietzwenkgras (diep)	11,8	1,8	13,3	1,8	14,8	1,5	17,1	0,9
Luzerne (diep)	9,7	1,9	11,6	1,8	13,8	0,9	14,5	1,1

1) Engels raaigras (standaard) wortelt hier tot 30 cm, rietzwenk (standaard) tot 35 cm

2) Engels raaigras (standaard) wortelt hier tot 35 cm, rietzwenk (standaard) tot 40 cm

3) Engels raaigras (standaard) wortelt hier tot 40 cm, rietzwenk (standaard) tot 50 cm

Bij bovenstaande resultaten moet worden aangetekend dat ze alleen betrekking hebben op opbrengstniveau en -zekerheid en nog niets zeggen over voederkwaliteit en/of inpasbaarheid in een bedrijfssysteem. Voor het beantwoorden van deze vraag zijn bovenvermelde simulatie-resultaten gebruikt als invoer in het instrumentarium van het PR. De conclusies daaruit zijn in de rapporten van de overige deelonderzoeken vermeld.

## 4. Conclusies

### 4.1. Wat betekenen de resultaten voor de praktijk?

Duidelijk is dat beperkingen in beregeningsmogelijkheden op zandgronden leiden tot lagere opbrengsten. *Gras en luzerne* hebben een hoge transpiratiecoëfficiënt van ongeveer 350-600 l kg<sup>-1</sup> oogstbare drogestof (Smid *et al.*, 1998), waardoor ze water weinig efficiënt benutten. Deze gewassen hebben echter ook een lang groeiseizoen, waardoor ze van een grotere hoeveelheid natuurlijke neerslag kunnen profiteren dan bijvoorbeeld *maïs*. De niet oogstbare drogestof kan een belangrijke bijdrage leveren aan het behoud of herstel van de bodemkwaliteit (organische stof bodem). Dat is zeker van belang op jonge zandgronden wanneer het gebruik van dierlijke mest moet worden beperkt. Continueelt van bijvoorbeeld *maïs* kan dan alleen maar als op een andere manier in de behoefte aan organische stof wordt voorzien, bijvoorbeeld door de teelt van een nawas. Op de droogste zandgronden (met 40 cm doorwortelbaar profiel) is gras, met een berekende gemiddelde opbrengst over 33 jaar van 10,6 t ha<sup>-1</sup> met een SD van 1,8 t ha<sup>-1</sup>, oogstzekerder dan *maïs*, met een berekende gemiddelde opbrengst van 10,6 t ha<sup>-1</sup> en een SD van 2,3 t ha<sup>-1</sup>. *Maïs* gaat weliswaar efficiënt om met water (de transpiratiecoëfficiënt is circa 170 l kg<sup>-1</sup> (Smid *et al.*, 1998)), maar dit gewas is droogtegevoelig en groeit in een periode dat de kans op droogte relatief groot is.

Op wat minder droogtegevoelige zandgronden zal *maïs* meer produceren dan gras. Een voorbeeld: op een zandgrond met een doorwortelbaar profiel van 90 cm werd voor *maïs* een gemiddelde opbrengst van 13 t ha<sup>-1</sup> berekend met een standaardafwijking (SD) van 1,6 t ha<sup>-1</sup> en voor gras een gemiddelde opbrengst van 11,9 t ha<sup>-1</sup> met een SD van 2,0 t ha<sup>-1</sup>. Bij beperkte beregeningsmogelijkheden is berekening van *maïs* veel effectiever dan van gras. Dit wordt veroorzaakt door de lagere transpiratiecoëfficiënt van *maïs* en doordat beperkte beregening een gunstig effect heeft op de zaadzetting in de kolf (Smid *et al.*, 1998).

*Luzerne* is alleen maar aantrekkelijk op de gronden waar een (zeer) diepe beworteling mogelijk is van circa 1,5 m (*luzerneMD*). In het algemeen zijn dat de wat minder droogtegevoelige gronden.

Zeker bij een volledig beregeningsverbod lijkt *triticale* interessant omdat dit gewas al vroeg afrijpt en hoge gemiddelde opbrengsten geeft (afhankelijk van het type zandgrond werd 14-18 t ha<sup>-1</sup> berekend), weliswaar met een wat grotere oogstonzekerheid (een SD van circa 3 t ha<sup>-1</sup>). Een bijkomend voordeel is dat droogte minder effect op de zaadfractie heeft dan bij *maïs* (Smid *et al.*, 1998).

## 5. Referenties

- Boons-Prins, E.R., Koning, G.H.J. de & Diepen, C.A. van, 1993. Crop-specific simulation parameters for yield forecasting across the European Community. Simulation Reports CABO-TT 32, CABO, Wageningen, 43 pp.
- Bruin, H.A.R. de, 1987. From Penman to Makkink. TNO Committee on Hydrological Research. The Hague. Proc. Inform. 39: 5-22
- Feddes, R.A., Kabat, P., Bakel P.J.T. van, Bronswijk, J.J.B. & Halbertsma, J., 1978. Modeling soil water dynamics in the unsaturated zone - State of the art. Journal of Hydrology 100: 69-111.
- Heemst, H.D.J. van, 1988. Plant data values required for simple crop growth simulation models: review and bibliography. Simulation Report CABO-TT 17, CABO, Wageningen, 100 pp.
- Keulen, H. van, 1975. Simulation of water use and herbage growth in arid regions. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen.
- Keulen, H. van, 1986. A simple model of water-limited production. In: H. van Keulen & J. Wolf (Eds), Modelling of agricultural production: weather, soils and crops. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen, Netherlands.
- Makkink, G.F., 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters. Journal of the Institute of Water Engineering. 11: 277-288.
- Nijssen, J.M.A. & Schreuder, R., 1998. Economie van droogte-tolerante gewassen. PR-publicatie nr. 132. PR, Lelystad.
- Schans, D.A. van der, Stienezen, M., Everts, H., & Snijders, P., 1998. Opbrengstvariabiliteit van voedergrassen op droogtegevoelige grond. Intern documentatieverslag nr. 92. PAV, Lelystad.
- Sibma, L. & Ennik, G.C., 1988. Ontwikkeling en groei van produktiegras onder Nederlandse omstandigheden. Gewassenreeks 2, Pudoc, Wageningen, 53 pp.
- Smid, H.G., Grashoff, C. & Aarts, H.F.M., 1998. Vochtgebruik en droogtegevoeligheid van voedergrassen. Experimenteel onderzoek 1994-1996. AB-rapport nr. 91, AB-DLO, Wageningen.
- Spitters, C.J.T., 1989. Weeds: Population dynamics, germination and competition. In: R. Rabbinge, S.A. Ward & H.H. van Laar (Eds), Simulation and systems management in crop protection. Simulation Monographs 32, Pudoc, Wageningen, pp. 182-216
- Spitters, C.J.T. & Schapendonk, A.H.C.M., 1990. Evaluation of breeding strategies for drought tolerance in potato by means of crop growth simulation. Plant and Soil 123: 193-203.
- Spitters, C.J.T., Keulen, H. van & Kraalingen, D.W.G. van, 1989. A simple and universal crop growth simulator: SUCROS87. In: R. Rabbinge, S.A. Ward & H.H. van Laar (Eds), Simulation and systems management in crop protection. Simulation Monographs 32. Pudoc, Wageningen, pp. 182-216.
- Stolte, J., Hack-ten Broecke, M.J.D. & Veldhuizen, A.A., 1998. Effect van de teelt van verschillende voedergrassen zonder berekening op de regionale waterhuishouding in het Beerze-Reuzel-gebied. Rapport nr. 590, SC-DLO, Wageningen.

# Bijlage 1. Gesimuleerde opbrengsten 33 jaren

## B1.1. Engels raaigras, standaard worteldiepte.

### Opbrengsten 33 jaren

ER 30 CM		ER 35 CM		ER 40 CM LEENDEBOVEN		ER POTENTIEEL	
YEAR	WLVHA	YEAR	WLVHA	YEAR	WLVHA	YEAR	WLVHA
1959	6208	1959	6481	1959	7279	1959	20609
1960	10959	1960	11168	1960	11818	1960	17020
1961	13177	1961	13592	1961	14391	1961	17683
1962	10345	1962	10674	1962	11590	1962	16297
1963	10779	1963	11333	1963	12776	1963	16538
1964	9045	1964	9350	1964	10141	1964	17596
1965	14644	1965	15259	1965	16169	1965	17008
1966	11509	1966	12068	1966	13386	1966	16903
1967	10277	1967	10668	1967	11413	1967	17679
1968	12535	1968	12998	1968	13751	1968	16136
1969	12827	1969	13491	1969	14327	1969	17274
1970	9019	1970	9378	1970	10325	1970	16737
1971	9354	1971	9982	1971	11163	1971	17721
1972	13652	1972	14317	1972	15376	1972	16614
1973	9525	1973	9648	1973	10460	1973	17469
1974	11030	1974	11463	1974	12105	1974	16679
1975	10016	1975	10333	1975	11189	1975	17367
1976	6715	1976	7008	1976	7811	1976	18562
1977	11344	1977	12210	1977	13236	1977	16625
1978	10638	1978	11187	1978	12081	1978	16492
1979	10151	1979	10324	1979	10839	1979	16273
1980	9451	1980	9943	1980	11095	1980	16699
1981	9862	1981	10100	1981	10790	1981	16014
1982	9370	1982	9701	1982	10367	1982	17411
1983	9947	1983	10356	1983	11108	1983	17348
1984	12040	1984	12540	1984	13302	1984	16900
1985	12999	1985	13630	1985	14885	1985	16575
1986	10919	1986	11190	1986	11963	1986	16936
1987	12891	1987	13299	1987	14105	1987	15837
1988	10108	1988	9618	1988	10549	1988	16042
1994	10745	1994	10954	1994	11707	1994	17706
1995	8579	1995	8755	1995	9310	1995	18058
1996	8949	1996	9458	1996	10295	1996	17147
AV	10594	AV	10984	AV	11852	AV	17090
STDEVP	1822	STDEVP	1928	STDEVP	1989	STDEVP	881

AV = gemiddelde opbrengst (kg ha<sup>-1</sup>)

STDEVP = standaardafwijking (kg ha<sup>-1</sup>)

WLVHA = totaal oogstbaar bovengronds (kg ha<sup>-1</sup>)



B1.2

Engels raaigras, optie diep wortelend.

Opbrengsten 33 jaren

ER 40 CM (DIEP)		ER 60 CM (DIEP)		ER 90 CM (DIEP)		ER POTENTIEEL (DIEP)	
YEAR	WLVHA	YEAR	WLVHA	YEAR	WLVHA	YEAR	WLVHA
1959	6670	1959	7501	1959	9139	1959	20609
1960	11392	1960	11969	1960	13465	1960	17020
1961	13885	1961	14713	1961	15874	1961	17683
1962	10942	1962	11874	1962	13122	1962	16297
1963	11905	1963	13187	1963	14495	1963	16538
1964	9595	1964	10558	1964	11787	1964	17596
1965	15629	1965	16522	1965	17008	1965	17008
1966	12549	1966	13861	1966	15300	1966	16903
1967	10864	1967	11731	1967	13202	1967	17679
1968	13272	1968	14019	1968	15241	1968	16136
1969	13890	1969	14611	1969	15828	1969	17274
1970	9677	1970	10769	1970	12123	1970	16737
1971	10381	1971	11789	1971	13290	1971	17721
1972	14725	1972	15953	1972	16614	1972	16614
1973	10032	1973	11127	1973	12316	1973	17469
1974	11729	1974	12309	1974	13368	1974	16679
1975	10613	1975	11565	1975	12826	1975	17367
1976	7272	1976	8106	1976	8924	1976	18562
1977	12649	1977	13574	1977	14682	1977	16625
1978	11543	1978	12421	1978	13745	1978	16492
1979	10475	1979	11169	1979	12546	1979	16273
1980	10235	1980	11313	1980	13469	1980	16699
1981	10270	1981	11180	1981	12480	1981	16014
1982	9987	1982	10681	1982	11999	1982	17411
1983	10556	1983	11411	1983	12739	1983	17348
1984	12783	1984	13576	1984	14892	1984	16900
1985	14140	1985	15171	1985	16286	1985	16575
1986	11471	1986	12175	1986	13302	1986	16936
1987	13604	1987	14565	1987	15675	1987	15837
1988	9902	1988	11734	1988	13276	1988	16042
1994	11117	1994	11862	1994	12728	1994	17706
1995	8873	1995	9687	1995	11031	1995	18058
1996	9714	1996	10607	1996	11803	1996	17147
AV	11283	AV	12221	AV	13472	AV	17090
STDEVP	1980	STDEVP	1991	STDEVP	1888	STDEVP	881

AV = gemiddelde opbrengst (kg ha<sup>-1</sup>)

STDEVP = standaardafwijking (kg ha<sup>-1</sup>)

WLVHA = totaal oogstbaar bovengronds (kg ha<sup>-1</sup>)

### B1.3 Rietzwenkgras, standaard worteldiepte.

#### Opbrengsten 33 jaren

RZ 35 CM		RZ 40 CM		RZ 50 CM LEENDEBOVEN		RZ POTENTIEEL	
YEAR	WLVHA	YEAR	WLVHA	YEAR	WLVHA	YEAR	WLVHA
1959	7484	1959	7704	1959	8837	1959	20609
1960	11829	1960	12040	1960	12623	1960	17020
1961	13993	1961	14258	1961	15236	1961	17683
1962	11126	1962	11366	1962	12550	1962	16297
1963	11759	1963	12192	1963	13666	1963	16538
1964	10004	1964	10218	1964	11395	1964	17596
1965	15484	1965	15802	1965	16738	1965	17008
1966	12589	1966	12949	1966	14447	1966	16903
1967	11256	1967	11421	1967	12499	1967	17679
1968	13171	1968	13443	1968	14306	1968	16136
1969	13828	1969	14174	1969	14900	1969	17274
1970	10102	1970	10365	1970	11532	1970	16737
1971	11244	1971	11656	1971	12958	1971	17721
1972	14622	1972	14966	1972	16125	1972	16614
1973	10799	1973	11024	1973	12003	1973	17469
1974	12072	1974	12292	1974	12780	1974	16679
1975	10998	1975	11254	1975	12326	1975	17367
1976	7713	1976	7946	1976	8855	1976	18562
1977	12660	1977	13073	1977	14099	1977	16625
1978	11637	1978	11966	1978	13049	1978	16492
1979	10779	1979	10944	1979	11925	1979	16273
1980	10481	1980	10860	1980	12414	1980	16699
1981	10697	1981	10857	1981	11908	1981	16014
1982	10474	1982	10707	1982	11437	1982	17411
1983	10986	1983	11209	1983	12303	1983	17348
1984	13026	1984	13246	1984	14084	1984	16900
1985	13935	1985	14395	1985	15482	1985	16575
1986	11699	1986	11911	1986	12760	1986	16936
1987	13395	1987	13695	1987	14895	1987	15837
1988	11632	1988	11926	1988	13017	1988	16042
1994	11276	1994	11441	1994	12337	1994	17706
1995	9353	1995	9424	1995	10483	1995	18058
1996	9926	1996	10157	1996	11236	1996	17147
AV	11577	AV	11845	AV	12885	AV	17090
STDEVP	1751	STDEVP	1794	STDEVP	1785	STDEVP	881

AV = gemiddelde opbrengst ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

STDEVP = standaardafwijking ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

WLVHA = totaal oogstbaar bovengronds ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

B1.4 Rietzwenkgras, optie diep wortelend.  
Opbrengsten 33 jaren

RZ 40 CM (DIEP)		RZ 75 CM (DIEP)		RZ 120 CM (DIEP)		RZ POTENTIEEL (DIEP)	
YEAR	WLVHA	YEAR	WLVHA	YEAR	WLVHA	YEAR	WLVHA
1959	7704	1959	9347	1959	11314	1959	20609
1960	12040	1960	13075	1960	14929	1960	17020
1961	14258	1961	15566	1961	17014	1961	17683
1962	11366	1962	12898	1962	14666	1962	16297
1963	12192	1963	14078	1963	15694	1963	16538
1964	10218	1964	11782	1964	13032	1964	17596
1965	15802	1965	16953	1965	17008	1965	17008
1966	12949	1966	14953	1966	16443	1966	16903
1967	11421	1967	12936	1967	14607	1967	17679
1968	13443	1968	14663	1968	16113	1968	16136
1969	14174	1969	15300	1969	16852	1969	17274
1970	10365	1970	12010	1970	13654	1970	16737
1971	11656	1971	13481	1971	14897	1971	17721
1972	14966	1972	16413	1972	16614	1972	16614
1973	11024	1973	12394	1973	14063	1973	17469
1974	12292	1974	13060	1974	15064	1974	16679
1975	11254	1975	12707	1975	14358	1975	17367
1976	7946	1976	9037	1976	10737	1976	18562
1977	13073	1977	14418	1977	16101	1977	16625
1978	11966	1978	13458	1978	15383	1978	16492
1979	10944	1979	12363	1979	14142	1979	16273
1980	10860	1980	13198	1980	15330	1980	16699
1981	10857	1981	12336	1981	14151	1981	16014
1982	10707	1982	11890	1982	13591	1982	17411
1983	11209	1983	12679	1983	14230	1983	17348
1984	13246	1984	14460	1984	16366	1984	16900
1985	14395	1985	15834	1985	16575	1985	16575
1986	11911	1986	13087	1986	14966	1986	16936
1987	13695	1987	15338	1987	15836	1987	15837
1988	11926	1988	13474	1988	15356	1988	16042
1994	11441	1994	12621	1994	14251	1994	17706
1995	9424	1995	10910	1995	12706	1995	18058
1996	10157	1996	11565	1996	13354	1996	17147
AV	11845	AV	13281	AV	14830	AV	17090
STDEVP	1794	STDEVP	1770	STDEVP	1510	STDEVP	881

AV = gemiddelde opbrengst (kg ha<sup>-1</sup>)  
STDEVP = standaardafwijking (kg ha<sup>-1</sup>)  
WLVHA = totaal oogstbaar bovengronds (kg ha<sup>-1</sup>)

## B1.5 Maïs. Opbrengsten 33 jaren

MA 40 CM			MA 60 CM			MA 90 CM			MA POTENTIEEL		
YEAR	WTA	WSO	YEAR	WTA	WSO	YEAR	WTA	WSO	YEAR	WTA	WSO
1959	8318	3955	1959	10992	5026	1959	14606	6936	1959	18728	9960
1960	12924	5965	1960	13490	6073	1960	13501	6075	1960	13501	6075
1961	12146	5402	1961	12768	5758	1961	12781	5766	1961	12781	5766
1962	10335	3755	1962	10347	3759	1962	10347	3759	1962	10347	3759
1963	10723	4314	1963	12115	5078	1963	12145	5095	1963	12145	5095
1964	10577	3564	1964	13051	5226	1964	15841	7639	1964	15941	7734
1965	12153	4944	1965	12153	4944	1965	12153	4944	1965	12153	4944
1966	14143	6806	1966	14149	6812	1966	14149	6812	1966	14149	6812
1967	11213	5104	1967	13109	5890	1967	13966	6398	1967	13966	6398
1968	12566	5719	1968	12566	5719	1968	12566	5719	1968	12566	5719
1969	14318	6936	1969	14541	7102	1969	14541	7102	1969	14541	7102
1970	10993	4683	1970	13013	5568	1970	15666	7923	1970	15704	7959
1971	10009	3330	1971	11853	4170	1971	14702	6427	1971	15121	6818
1972	10957	4277	1972	10958	4277	1972	10958	4277	1972	10958	4277
1973	10444	4330	1973	12086	4669	1973	15456	7288	1973	15938	7744
1974	12177	4911	1974	12177	4911	1974	12177	4911	1974	12177	4911
1975	11834	4937	1975	13923	6343	1975	15837	7997	1975	15837	7997
1976	6828	2659	1976	8675	3008	1976	12216	5122	1976	18641	10098
1977	10859	4061	1977	11609	4469	1977	11616	4474	1977	11616	4474
1978	8754	2851	1978	10515	3918	1978	10828	4147	1978	10828	4147
1979	10415	3954	1979	12244	4999	1979	12845	5497	1979	12845	5497
1980	11899	5316	1980	12742	5966	1980	12751	5972	1980	12751	5972
1981	11672	4961	1981	13075	6183	1981	13112	6216	1981	13112	6216
1982	11120	4576	1982	13770	6425	1982	15459	7825	1982	15459	7825
1983	6569	1777	1983	8492	2626	1983	12227	5325	1983	15150	7947
1984	8823	2831	1984	11191	4439	1984	11859	4945	1984	11859	4945
1985	13755	6324	1985	14308	6530	1985	14313	6532	1985	14313	6532
1986	7977	2476	1986	9823	3071	1986	12818	4932	1986	13135	5173
1987	10455	3962	1987	10461	3962	1987	10461	3962	1987	10461	3962
1988	12748	5954	1988	12756	5955	1988	12756	5955	1988	12756	5955
1994	6451	2287	1994	8595	3025	1994	12488	5468	1994	16920	9189
1995	4076	361	1995	6075	916	1995	9797	3088	1995	17188	9418
1996	10047	4544	1996	11980	5282	1996	13579	6202	1996	13580	6202
AV	10554	4298	AV	11806	4912	AV	13046	5780	AV	13854	6443
STDEVP	2286	1436	STDEVP	1874	1348	STDEVP	1629	1242	STDEVP	2177	1698

AV = gemiddelde opbrengst (kg ha<sup>-1</sup>)

STDEVP = standaardafwijking (kg ha<sup>-1</sup>)

WTA = totaal oogstbaar bovengronds (kg ha<sup>-1</sup>)

WSO = kolfgewicht (kg ha<sup>-1</sup>)

B1.6 Bieten. Opbrengsten 33 jaren

BI 40 CM			BI 60 CM			BI 90 CM			BI POTENTIEEL		
YEAR	WTAG	WSO	YEAR	WTAG	WSO	YEAR	WTAG	WSO	YEAR	WTAG	WSO
1959	6916	4785	1959	10342	7515	1959	13069	9633	1959	26051	20806
1960	16060	12687	1960	18344	14446	1960	19743	15529	1960	20651	16151
1961	13781	10438	1961	15481	11660	1961	18243	13899	1961	20048	15567
1962	13836	10491	1962	15555	11278	1962	18111	13126	1962	20086	14594
1963	14906	11369	1963	16792	12797	1963	19458	14943	1963	19673	15119
1964	10792	7539	1964	12682	8984	1964	15470	11274	1964	22926	18357
1965	20855	15941	1965	21381	16283	1965	21385	16285	1965	21385	16285
1966	17558	13522	1966	19868	15689	1966	21109	16822	1966	21112	16824
1967	12231	9295	1967	14600	11194	1967	17203	13221	1967	20964	16514
1968	18525	14496	1968	18553	14519	1968	18553	14519	1968	18553	14519
1969	15602	12130	1969	17592	13618	1969	20441	16015	1969	21644	17111
1970	10053	7212	1970	11916	8462	1970	15311	11435	1970	22537	17932
1971	11723	8126	1971	13513	9487	1971	16422	11879	1971	23520	18398
1972	18791	13947	1972	20749	15483	1972	21433	15948	1972	21433	15948
1973	10240	7306	1973	11906	8412	1973	14632	10587	1973	23183	18059
1974	17385	12640	1974	19054	13692	1974	21370	15542	1974	21386	15554
1975	11082	7964	1975	13119	9540	1975	15814	11680	1975	22118	17431
1976	6720	4503	1976	8160	5401	1976	11427	8148	1976	24365	19605
1977	13507	10312	1977	16260	12542	1977	19032	14652	1977	19201	14789
1978	13066	9432	1978	15051	10924	1978	18348	13543	1978	19978	14844
1979	11677	8627	1979	13403	9895	1979	15981	11942	1979	20309	15837
1980	14569	11087	1980	17497	13469	1980	19866	15389	1980	19878	15396
1981	12069	8704	1981	13959	10261	1981	17426	13485	1981	20044	15850
1982	11276	8330	1982	13427	10115	1982	16206	12400	1982	20651	16553
1983	6704	4210	1983	8355	5405	1983	11228	7705	1983	21542	17238
1984	12427	8845	1984	14198	10208	1984	17525	12881	1984	21099	15837
1985	18796	14630	1985	20412	15781	1985	22387	17330	1985	22391	17334
1986	10485	7565	1986	13451	10047	1986	16919	12840	1986	22624	17292
1987	17153	12988	1987	18155	13641	1987	18184	13660	1987	18184	13660
1988	16204	12691	1988	18719	14662	1988	19373	15215	1988	19374	15216
1994	6750	4492	1994	8715	5986	1994	12103	8815	1994	21672	17332
1995	4962	2828	1995	6574	3958	1995	9422	6227	1995	21749	17545
1996	9859	7340	1996	13756	10656	1996	17844	14099	1996	21055	16625
AV	12926	9590	AV	14895	11091	AV	17304	13051	AV	21254	16549
STDEVP	3967	3307	STDEVP	3786	3205	STDEVP	3159	2693	STDEVP	1625	1500

- AV = gemiddelde opbrengst (kg ha<sup>-1</sup>)
- STDEVP = standaardafwijking (kg ha<sup>-1</sup>)
- WTAG = totaal oogstbaar bovengronds (kg ha<sup>-1</sup>)
- WSO = bietgewicht (kg ha<sup>-1</sup>)

## B1.7 Luzerne, versie eerstejaars. Opbrengsten 33 jaren

LU 'o' VERSIE 40 CM		LU -o-VERSIE 60 CM		LU -o-VERSIE 90 CM		LU-o POTENTIEEL	
YEAR	WTHA	YEAR	WTHA	YEAR	WTHA	YEAR	WTHA
1959	5688	1959	6524	1959	8076	1959	16691
1960	7885	1960	9265	1960	9874	1960	12916
1961	12093	1961	12618	1961	13379	1961	13382
1962	9167	1962	9527	1962	11701	1962	11981
1963	8926	1963	10800	1963	12104	1963	12117
1964	7588	1964	8168	1964	10042	1964	13487
1965	12197	1965	12628	1965	12639	1965	12639
1966	9531	1966	11040	1966	12659	1966	12963
1967	8461	1967	9103	1967	10819	1967	13858
1968	9902	1968	10949	1968	12028	1968	12047
1969	10884	1969	12235	1969	13160	1969	13169
1970	6097	1970	8247	1970	9720	1970	12780
1971	7145	1971	9775	1971	11481	1971	13561
1972	11727	1972	12269	1972	12287	1972	12287
1973	7998	1973	8931	1973	10279	1973	13432
1974	7424	1974	8892	1974	10776	1974	13024
1975	8525	1975	9480	1975	10825	1975	13504
1976	4679	1976	5907	1976	7310	1976	14969
1977	10265	1977	11068	1977	12145	1977	12159
1978	9226	1978	10468	1978	11652	1978	12267
1979	8880	1979	9707	1979	10521	1979	11807
1980	7783	1980	9476	1980	9518	1980	12423
1981	8166	1981	9365	1981	10827	1981	12003
1982	7321	1982	8532	1982	9878	1982	13393
1983	8057	1983	8710	1983	9944	1983	13337
1984	10004	1984	10758	1984	12232	1984	12476
1985	10909	1985	12284	1985	12352	1985	12352
1986	8797	1986	9160	1986	10303	1986	12691
1987	9582	1987	10910	1987	11359	1987	11359
1988	8730	1988	9668	1988	10777	1988	12072
1994	8824	1994	8381	1994	9908	1994	13863
1995	6664	1995	7293	1995	8620	1995	14258
1996	6931	1996	7974	1996	9379	1996	13002
AV	8668	AV	9700	AV	10866	AV	12978
STDEVP	1736	STDEVP	1656	STDEVP	1420	STDEVP	1011

AV = gemiddelde opbrengst (kg ha<sup>-1</sup>)

STDEVP = standaardafwijking (kg ha<sup>-1</sup>)

WTHA = totaal oogstbaar bovengronds (kg ha<sup>-1</sup>)

B1.8 Luzerne, versie meerjarig. Opbrengsten 33 jaren

LU 1-VERSIE 40 CM		LU 1-VERSIE 80 CM		LU 1-VERSIE 160 CM		LU-1 POTENTIEEL	
YEAR	WTHA	YEAR	WTHA	YEAR	WTHA	YEAR	WTHA
1959	6306	1959	8355	1959	12149	1959	18621
1960	8680	1960	10313	1960	14381	1960	14390
1961	13519	1961	14802	1961	15015	1961	15015
1962	10187	1962	12364	1962	13472	1962	13472
1963	9598	1963	13184	1963	13605	1963	13605
1964	8666	1964	10136	1964	13492	1964	15047
1965	13661	1965	14174	1965	14174	1965	14174
1966	10686	1966	13452	1966	14454	1966	14454
1967	9308	1967	10156	1967	15007	1967	15450
1968	11098	1968	13154	1968	13479	1968	13479
1969	12054	1969	14371	1969	14706	1969	14706
1970	6859	1970	10398	1970	14026	1970	14276
1971	8545	1971	12219	1971	15099	1971	15103
1972	13117	1972	13697	1972	13697	1972	13697
1973	9038	1973	10930	1973	14408	1973	14991
1974	8151	1974	11559	1974	14423	1974	14428
1975	9563	1975	11544	1975	14577	1975	15051
1976	5793	1976	7320	1976	10755	1976	16635
1977	11527	1977	13281	1977	13596	1977	13596
1978	10273	1978	12589	1978	13765	1978	13765
1979	9843	1979	11771	1979	13366	1979	13366
1980	8486	1980	10327	1980	13904	1980	13905
1981	9139	1981	11477	1981	13424	1981	13424
1982	7895	1982	10514	1982	13614	1982	14893
1983	9062	1983	9948	1983	14509	1983	14892
1984	11160	1984	13226	1984	13964	1984	13964
1985	12229	1985	13776	1985	13783	1985	13783
1986	9788	1986	11051	1986	14110	1986	14114
1987	10733	1987	12728	1987	12749	1987	12749
1988	9715	1988	10970	1988	13519	1988	13519
1994	9774	1994	10648	1994	13490	1994	15453
1995	7485	1995	9224	1995	12152	1995	15841
1996	7847	1996	10056	1996	13569	1996	14608
AV	9690	AV	11628	AV	13771	AV	14499
STDEVP	1899	STDEVP	1763	STDEVP	873	STDEVP	1099

AV = gemiddelde opbrengst (kg ha<sup>-1</sup>)  
STDEVP = standaardafwijking (kg ha<sup>-1</sup>)  
WTHA = totaal oogstbaar bovengronds (kg ha<sup>-1</sup>)

## B1.9      Triticale plus nateelt Italiaans raaigras.

### Opbrengsten 33 jaren

TRITICALE PLUS NATEELT 40 CM				TRITICALE PLUS NATEELT 60 CM				TRITICALE PLUS NATEELT 90 CM L				TRITICALE PLUS NATEELT POT			
YEAR	WTA	IR	TOT	YEAR	WTA	IR	TOT	YEAR	WTA	IR	TOT	YEAR	WTA	IR	TOT
1959	6634	1470	8103	1959	8552	1757	10309	1959	11520	1810	13330	1959	19642	4473	24115
1960	7609	4108	11717	1960	9624	4106	13730	1960	12331	4073	16404	1960	14902	3916	18818
1961	11844	3949	15793	1961	12260	4105	16365	1961	12264	4190	16454	1961	12264	4191	16455
1962	10068	3546	13614	1962	12313	3634	15947	1962	16131	3364	19495	1962	19232	3473	22705
1963	13806	3682	17488	1963	16330	3627	19957	1963	18721	3534	22255	1963	19083	3446	22529
1964	10505	2491	12996	1964	12949	2614	15563	1964	16124	2303	18427	1964	19447	4113	23560
1965	13577	3981	17558	1965	16429	4046	20475	1965	18750	3836	22586	1965	18753	3836	22589
1966	8210	3636	11845	1966	10577	3826	14403	1966	14016	3917	17933	1966	14350	3988	18338
1967	8991	3679	12670	1967	11506	3676	15182	1967	14666	3760	18426	1967	18161	4050	22211
1968	11080	3968	15048	1968	13640	3885	17525	1968	16822	3783	20605	1968	16890	3783	20673
1969	12269	3694	15963	1969	14719	4072	18791	1969	18282	3961	22243	1969	18914	4081	22995
1970	6062	3240	9302	1970	8908	3602	12510	1970	12443	3670	16113	1970	18203	3956	22159
1971	15745	2069	17814	1971	18304	2089	20393	1971	20703	2571	23274	1971	20799	3982	24781
1972	18031	3288	21319	1972	18535	3573	22108	1972	18545	3860	22405	1972	18545	3937	22482
1973	10315	2366	12681	1973	12241	2172	14413	1973	15656	3222	18878	1973	20589	3810	24399
1974	7891	3974	11865	1974	9555	4006	13560	1974	13046	3967	17013	1974	20768	3860	24628
1975	8882	3646	12529	1975	11157	3780	14937	1975	14128	3826	17954	1975	15564	4035	19599
1976	6163	1362	7525	1976	7747	1264	9011	1976	10186	1276	11462	1976	21802	4131	25933
1977	13065	4047	17112	1977	15099	4044	19143	1977	17687	3805	21492	1977	18026	3941	21967
1978	13493	3409	16902	1978	16284	3388	19672	1978	18910	3252	22162	1978	18918	3694	22612
1979	11139	2894	14033	1979	13399	2997	16396	1979	16929	2795	19724	1979	17620	3651	21271
1980	5911	3523	9434	1980	8636	3867	12503	1980	12809	4008	16817	1980	20641	3770	24411
1981	9038	3626	12663	1981	11216	3745	14961	1981	13056	3601	16657	1981	13063	3814	16877
1982	9755	3469	13224	1982	12208	3254	15462	1982	15153	3165	18318	1982	20029	4063	24092
1983	12643	1325	13968	1983	14363	2146	16509	1983	14588	3553	18141	1983	14588	4163	18751
1984	17576	3367	20943	1984	19915	2984	22899	1984	21078	3097	24175	1984	21079	3658	24737
1985	14703	3900	18603	1985	17384	3888	21272	1985	17950	3826	21776	1985	17950	3826	21776
1986	11100	3924	15024	1986	12966	3949	16915	1986	15728	3904	19632	1986	20896	3733	24629
1987	14017	3831	17848	1987	16263	3627	19890	1987	18423	3343	21766	1987	18435	3343	21778
1988	8159	3987	12145	1988	9874	3995	13869	1988	13068	3954	17022	1988	15846	3919	19765
1994	10974	2674	13648	1994	12178	3772	15950	1994	12624	4044	16668	1994	12626	4244	16870
1995	10945	248	11193	1995	13532	167	13699	1995	15128	687	15815	1995	15167	4307	19474
1996	6912	4092	11003	1996	9117	4085	13202	1996	11736	4096	15832	1996	18310	3845	22155
AV	10821	3226	14048	AV	12963	3325	16288	AV	15430	3395	18826	AV	17912	3910	21822
STDEVP	3158	950	3340	STDEVP	3157	932	3293	STDEVP	2801	817	2930	STDEVP	2561	242	2499

AV = gemiddelde opbrengst (kg ha<sup>-1</sup>)

STDEVP = standaardafwijking (kg ha<sup>-1</sup>)

WTA = totaal oogstbaar bovengronds triticale (kg ha<sup>-1</sup>)

IR = oogstbaar Italiaans raaigras (kg ha<sup>-1</sup>)

TOT = triticale + Italiaans raaigras (kg ha<sup>-1</sup>)



## Bijlage 2. Modellen-listings

Als voorbeeld is hier de volledige listing voor de versie Engels raaigras opgenomen. Van de listings van de andere modellen zijn alleen de t.o.v. Engels raaigras veranderde programmaregels opgenomen. Alle volledige listings zijn op aanvraag verkrijgbaar bij C. Grashoff, AB-DLO. E-mail: c.grashoff@ab.dlo.nl

Het zelf runnen van de modellen op een PC is technisch zeer goed mogelijk, maar alleen in overleg met en na schriftelijke goedkeuring van AB-DLO. Neem ook hiervoor contact op met C. Grashoff.

### B2.1 Volledige model-listing voor Engels raaigras

```

DEFINE_CALL SGLA(INPUT, INPUT, INPUT, INPUT, INPUT, INPUT, INPUT, INPUT, ...
                INPUT, INPUT, OUTPUT)
TITLE ABPRGRA1

*      ABPRGRA1.FST is a simulation model for crop growth,
*      with a simple water balance for studying effects of drought.
*      Author: C.J.T. Spitters, with modifications by M. Van Oijen and
*      C. Grashoff. It was converted from CSMP into FST by D.W.G van
Kraalingen
*      on 2 October 1995.
*      VERSION FOR GRASS 1.4 (JANUARY 1997)
*      Basic reference: Spitters, C.J.T. & A.H.C.M. Schapendonk, 1990.
*      Evaluation of breeding strategies for drought tolerance in potato
*      by means of crop growth simulation. Plant and Soil 123: 193-203.
*      Modifications to the Spitters & Schapendonk version:
*      1. One temperature sum for development instead of two.
*      2. No effect of drought on Specific Leaf Area.
*      3. Simplification (linearization) of leaf senescence.
*      4. Option of intermediate shoot harvests.
*      5. LUE independent of biomass allocation.
*      6. Allocation described by AFGEN-functions of temperature sum.
*      8. Rooting depth made dynamic as a linear function of time.
*      9. Option of two-layer soil modelling with evaporation dependent
*      on water content of the 2cm-topsoil layer.
*      10. TSUM calculations and FINISH conditions for GRASS
*      11. Weather included from AB-DLO weather system via FST
*          (Van Kraalingen, 2 October 1995).
*      13. Soil parameters for Gastel and Leende (Noord Brabant,
Netherlands)
*      14. CGF = FINAL VERSION FOR PR STUDIES 1997-1998

*****
INCON ZERO = 0.

*      CROP GROWTH PARAMETERS
*      Crop factor (CRPF) to compute crop transpiration from open water
*      evaporation.

PARAM LUE0=3.0; TBASE=0.

```

PARAM DOYEM=1.; RGRL=0.012

\* CG 7/12/95 KDF=0.7 ACCORDING TO SIBMA & ENNIK, 1988

\* CG 97 SLA=0.0025 (ACCORDING TO KLEIN GASTEL AND S & E, 1988)

PARAM SLA=0.0025; KDF=0.7; LAICR=8.; CRPF0=1.3

\* CGF RTD FOR GASTEL 0.4, FOR LEENDE 1.0

PARAM RTDGR0=0.01;RTDMAX=0.4

INCON RTDI = 0.1

\* CGF PARAMETERS OF DEATH RATE INCLUDED

PARAM DRDVO = 0.; DRSH0 = 0.05; DRSM0 = 0.05

\* CG 6/12/95 PARTITIONING FOR GRASS,

\* DERIVED FROM SIBMA & ENNIK, 1988

FUNCTION FLVTB = 0.,0.5, 142.,0.5, 465.,0.5, 572.,0.5, 40000.,0.5

FUNCTION FSTTB = 0.,0.3, 142.,0.3, 465.,0.3, 572.,0.3, 40000.,0.3

FUNCTION FRTTB = 0.,0.2, 142.,0.2, 465.,0.2, 572.,0.2, 40000.,0.2

\* CONSTANTS OF TRANSPIRATION PHYSICS

PARAM LABDA=2.454; GAMM=0.658

\* SOIL PARAMETERS

\* Volumetric soil moisture contents (kgH2O/m3; 10 kgH2O/m3 = 1 vol%)  
\* at field capacity (VSMFC) and air dryness (VSMAD).

\* Soil moisture suction in relation to volumetric

\* soil moisture content (table SMST), for topsoil B2 (Staringreeks:

\* zwak lemig, zeer tot matig fijn zand).

PARAM VSMFC=200.; VSMAD=18.

PARAM SMSCRH=400.; SMSCL=600.; SMSWP=16000.

PARAM TWOLAY=0.

FUNCTION SMST = 0.,20000., 20.,16000., 50.,1000., 100.,300., ...  
150.,180., 200.,100., 250.,80., 300.,55., 350.,30., 400.,13.

\* PARAMETER FOR MIMICKING OPTIMAL WATER AVAILABILITY

\* CGF PARAM POT=1.

PARAM POT=0.

\*\*\*\*\*

INITIAL

\* RUN CONTROL

\* IPFORM FST statement for output format

TIMER STTIME=1.; FINTIM=365.; DELT=1.; PRDEL=400.;IPFORM=4

TRANSLATION\_FSE

WEATHER CNTR='NLD';ISTN=98;WTRDIR='C:\SYS\WEATHER\';IYEAR=1994

PRINT YEAR,WLVHA

\* INITIALIZATION

\* Leaf area index at emergence (LAI: m2/m2), initial soil moisture  
\* (SMRTZI: kg H2O/m2).

\* CG 6/12/95 INITIAL VALUE FOR GRASS (ESTIMATED FROM SIBMA & ENNIK)

PARAM LAII = 0.2

SM2I = VSMFC\*0.02

```
* CGF
SMRTZI = VSMI*RTDI
PARAM VSMI = 200.
```

```
*****
```

# DYNAMIC

```
* Reading of the desired weather data from the CABO/TPE Weather System.
*
```

```
* radiation in MJ/m2/d-1
```

```
DTR = RDD * 1.E-6
```

```
TMIN = TMMN
```

```
TMAX = TMMX
```

```
* WEATHER VARIABLES
```

```
* Global radiation (DTR: MJ/m2/d), daily average temperature (DAVTMP:
* 'C), temperature sum for development (TSUM: d*degree).
```

```
DAVTMP = 0.5 * (TMIN + TMAX)
```

```
DTEFF = AMAX1(0.,DAVTMP)
```

```
EMERG = INSW(DOY-DOYEM, 0., 1.)
```

```
RTSUM = DTEFF*EMERG
```

```
TSUM = INTGRL(ZERO, RTSUM)
```

```
CRPF = CRPF0
```

```
* LEAF GROWTH AND SENESCENCE
```

```
CALL SGLA (DOY,DOYEM,DTEFF,TSUM,LAI, RGRL,...
DELT,SLA,LAI,FLV*GTW,GLAI)
```

```
*****
```

```
* CGF DEATH RATES INCLUDED
```

```
TSSNC = TSUM - 725.
```

```
DRDV = INSW( TSSNC, 0., DRDV0 * (DAVTMP - TBASE))
```

```
DRSH = DRSH0 * AMAX1(0.,LAI-LAICR)
```

```
DRSM = INSW( TSSNC, 0., DRSM0) * (1. - TRANRF)
```

```
DRS = AMAX1(DRSH,DRSM)
```

```
DLAI0 = AMIN1(DRDV+DRS,LAI/DELT+GLAI)
```

```
DLAI = DLAI0 + HARVLA
```

```
DLV = WLVG * DLAI/NOTNUL (LAI)
```

```
RLAI = GLAI - DLAI
```

```
LAI = INTGRL(ZERO,RLAI)
```

```
* CGF CONNECTION TO GGB 'VRAAG' HAS TO COME FORM GGB!!!:
```

```
PARAM DREMPLE=80.
```

```
FUNCTION VRAAGT=1. , 0.,...
```

```
150. , 0.,...
```

```
150.9, 0.,...
```

```
151. , 0.,...
```

```
151.1, 0.,...
```

```
365. , 0.
```

```
* calculate actually removable biomass
```

```
VRAAG = AFGEN (VRAAGT,TIME)
```

```
HARVLV = MIN (VRAAG,MAX (WLVG-DREMPLE,0.))
```

```
HARVLA = LAI * HARVLV/NOTNUL(WLVG) / DELT
```

```

LAIHA = INTGRL(ZERO,HARVLA)
WLVHA = INTGRL(ZERO,HARVLV)

* LIGHT INTERCEPTION AND CROP GROWTH
* Total intercepted photosynthetically active radiation (PARINT: MJ/m2
* ground/d), light use efficiency (LUE: g/MJ), total growth rate (GTW:
* kg DM/ha/d).
PARINT = 0.5 * DTR * (1. - EXP(-KDF*LAI))

* CGF LUETT INCLUDED LUE = LUE0 * AFGEN (LUETT,TMPD)
LUE = LUE0 * AFGEN (LUETT,DTEFF)

FUNCTION LUETT =      0.,0., 10.,1., 40.,1., 50.,0.

GTW      = LUE * PARINT * 10. * TRANRF

* DRY MATTER PARTITIONING, WITHOUT EFFECT OF DROUGHT
FAMST = 1.
FLVWET = AFGEN(FLVTB,TSUM)
FSTWET = AFGEN(FSTTB,TSUM)
FRTWET = AFGEN(FRTTB,TSUM)

FLV = FLVWET * FAMST
FST = FSTWET * FAMST
FRT = (1.-FLV-FST)

* DRY WEIGHTS of leaves (green and dead), stems (incl. stolons),
* storage organs (tubers) and roots (kgDM/ha).
* CGF FOR CORRECT CALCULATION OF TC
AWLVG = GTW*FLV

RWLVG = GTW*FLV-DLV
WLVG = INTGRL(ZERO,RWLVG)
WLVD = INTGRL(ZERO,DLV)
WLV = WLVG + WLVD
RWST = GTW*FST
WST = INTGRL(ZERO,RWST)
RWRT = GTW*FRT
WRT = INTGRL(ZERO,RWRT)
WSH = WLVG+ WST
WTA = WLV + WST
WTT = WTA + WRT

* SOIL MOISTURE BALANCE
* Soil moisture in the root zone (SMRTZ: kg H2O/m2 = mm), Soil moisture
* suction (SMS), volumetric soil moisture content of root zone (VSM),
* rainfall, soil evaporation and percolation (RAIN, EVAP, PERC:
* kgH2O/m2/d).
RTDGR = INSW(RTD-RTDMAX, RTDGR0, 0.)*EMERG
RTD = INTGRL( RTDI, RTDGR )
RSMRTZ = RAIN - EVAP - TRAN - PERC + RTDGR * VSMI
SMRTZ = INTGRL(SMRTZI, RSMRTZ)
SMS = AFGEN(SMST, VSMR)
VSMR = AMAX1( 0., VSM)
VSM = SMRTZ / RTD

* CGF PF-CALCULATION INCLUDED FOR CHECK ONLY
PF = LOG10(SMS)

EVAPRO = INSW(TWOLAY-0.5,...
              LIMIT(0.,1.,(VSM-VSMAD)/(VSMFC-VSMAD)),...)

```

```

      AFGEN(RDFSMT, VSM2))
EVAPRF = AMIN1(EVAPRO,LIMIT(0.,1.,(SMRTZ-RTD*VSMAD)/(RTD*VSMFC)))
EVAP = 0.75 * EPENM * EXP(-0.7 * KDF * LAI) * EVAPRF
PERC = AMAX1(0., SMRTZ + RAIN - EVAP - TRAN - RTD*VSMFC)

* WATER RELATIONS OF TOPSOIL (0-2cm).
VSM2 = ((SM2/0.02) - VSMAD) / (VSMFC - VSMAD)
FUNCTION RDFSMT = -0.5,0., 0.,0., 0.2,0.05, 0.22,0.27, 0.33,0.9,...
      1.,1., 1.5,1.
RSM2 = RAIN - EVAP2 - PERC2
SM2 = INTGRL(SM2I, RSM2)
EVAP2 = AMIN1 (EVAP * (1.-EXP(-PROP*0.02)), SM2 - 0.02*VSMAD)
PERC2 = AMAX1 (0., SM2 + RAIN - EVAP2 - 0.02*VSMFC)
PARAM PROP = 10.

* POTENTIAL AND ACTUAL TRANSPIRATION (PTRAN, TRAN: mm/d).
PTRAN = EPENM * CRPF * (1. - EXP(-0.7 * KDF * LAI))
TRAN = PTRAN * TRANRF
SMSRED = LIMIT(0.,1.,(SMSWP-SMS)/(SMSWP-SMSCR))
TRANRF = INSW (POT-0.5, SMSRED, 1.)
SMSCR = SMSCRH + (SMSCRL-SMSCRH) * LIMIT(0.,1.,(5.-CRPF*EPENM)/4.)

* Reference Makkink EVAPOTRANSPIRATION (mm/d) for short grass in the
* Netherlands (EREF) and estimated Penman EVAPORATION for open water
* (EPENM). (The ratio EPENM/EREF is based on a regression for data of
* the Netherlands; on average EPENM/EREF = 1./0.8)
EREF = 0.65 * (SLOPE/(SLOPE+GAMM)) * DTR / LABDA
SLOPE = 4158.6 * SVP / (DAVTMP+239.))**2
SVP = 6.11 * EXP(17.4*DAVTMP/(DAVTMP+239.))
EPENM = EREF * AFGEN(EPERT, DOY)
FUNCTION EPERT = 1.,1.35, 74.,1.35, 105.,1.30, 135.,1.30,...
      166.,1.31, 196.,1.27, 227.,1.19, 258.,1.17,...
      288.,1.00, 365.,1.00

*****

* ADDITIONAL OUTPUT VARIABLES
CTTRAN = INTGRL(ZERO,TRAN)
CEVAP = INTGRL(ZERO,EVAP)
CINT = INTGRL(ZERO,PARINT)
WUECUM = (WLW+WST+WRT) / NOTNUL(CTTRAN)
LUECUM = (WLW+WST+WRT) / NOTNUL(CINT)
TCCUM = (CTTRAN*1.E4) / NOTNUL(WTT)
TCCUMO = (CTTRAN*1.E4) / NOTNUL(WLVG)
TC = (TRAN*1.E4) / NOTNUL(RWLVG)

* CGF TEST CALCULATIONS FOR TC
TCWLVG = (TRAN*1.E4) / NOTNUL(AWLVG)
WEWLVG = AWLVG / NOTNUL(TRAN*1.E4)

END
*****
* CGF RERUN SECTION
* CGF 14/8/1997 SEE INSTRUCTIONS FOR ROOTABLE DEPTH
* PAV / PR !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
* PAV/PR: RTDMAX = 0.3, MEASURED GASTEL = 0.4
WEATHER IYEAR=1959; ISTN=15
* PARAM RTDMAX = 0.3
PARAM RTDMAX = 0.4
FUNCTION VRAAGT=1. , 0.,...

```

```

129. , 0.,...
129.9, 0.,...
130. , 5000.,...
130.1, 0.,...
169. , 0.,...
169.9, 0.,...
170. , 5000.,...
170.1, 0.,...
209. , 0.,...
209.9, 0.,...
210. , 5000.,...
210.1, 0.,...
259. , 0.,...
259.9, 0.,...
260. , 5000.,...
260.1, 0.,...
309. , 0.,...
309.9, 0.,...
310. , 5000.,...
310.1, 0.,...
365. , 0.

```

END

```

*****
* PAV/PR INTERMEDIATE SOIL: = 0.35 USED IN STANDARD ASSESSMENTS,
* OWN ASSUMPTION = 0.6
* PARAM RTDMAX = 0.35
PARAM RTDMAX = 0.6
WEATHER IYEAR=1959; ISTN=15

```

END

```

*****
* CG 2/6/1997
* CGF LEEDE, CORRECT PF-CURVE REPRESENTATIVE FOR 0-100 CM
FUNCTION SMST = 0.,20000., 20.,16000., 50.,600., 100.,250., ...
150.,150., 200.,100., 250.,70., 300.,40., 350.,25.
PARAM RTDMAX = 0.9
WEATHER IYEAR=1959; ISTN=15

```

END

```

*****
* PAV/PR LEEDE = 0.4, MEASURED LEEDE =1.0
* LEEDE
* PARAM RTDMAX = 0.4
PARAM RTDMAX = 0.9
PARAM POT=1.
WEATHER IYEAR=1959; ISTN=15

```

```

*****

```

END

STOP

```

*****

```

```

* Function GLA computes daily increase of leaf area index (m2/m2/d)
SUBROUTINE SGLA(DOY,DOYEM,DTEFF,TSUM,LAI, RGRL, DELT, SLA,
$ LAI, GLV, GLA)
IMPLICIT REAL (A-Z)
* during mature plant growth:
GLA = SLA * GLV
* during juvenile growth:
IF (LAI.LT.0.75) THEN
GLA = LAI * (EXP(RGRL * DTEFF * DELT) - 1.) / DELT
ENDIF
* at day of seedling emergence:
IF ((DOY.GE.DOYEM).AND.(LAI.EQ.0.)) GLA = LAI / DELT

```

```

*      before seedling emergence:
      IF (DOY.LT.DOYEM) GLA = 0.
      RETURN
      END

```

```

*****
*****
*****
*****

```

## B2.2 Aanpassingen voor rietzwenkgras

Aleen aangepaste programmaregels weergegeven !!  
 Volledige modelversie geregistreerd onder ABPRGRZ1.FST

```

* CGF CALIBRATION FOR RIETZWENK, original drsm0 = 0.05 changed into 0.02
PARAM DRDVO = 0.; DRSH0 = 0.05; DRSM0 = 0.02

```

```

PRINT YEAR,WLVHA

```

```

* CGF 14/8/1997 SEE INSTRUCTIONS FOR ROOTABLE DEPTH
* PAV / PR FOR RIETZWENK !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

```

* PAV/PR: PARAM RTDMAX = 0.35
* MEASURED IN GASTEL:
PARAM RTDMAX = 0.40

```

```

* PAV/PR: PARAM RTDMAX = 0.40
* OWN ASSUMTION FOR INTERMEDIATE SOIL:
PARAM RTDMAX = 0.75

```

```

* PAV/PR FOR LEENDE: PARAM RTDMAX = 0.50
* MEASURED IN LEENDE:
PARAM RTDMAX = 1.20

```

## B2.3 Aanpassingen voor maïs

Alleen aangepaste programmaregels weergegeven !!  
 Volledige modelversie geregistreerd onder ABPRMAI1.FST

```

* CG 6/12/95 TBASE FOR MAIZE
* CG 10/7/1997 GENERAL VALUE FOR LUE0 (3.0)
* CG 15/7/1997 DOYEM CORRECTED INTO 126., RGRL CALIBRATED TO 0.010
PARAM LUE0=3.0, LA0=0.007, TBASE=8.
PARAM NPL=8., DOYEM=126., RGRL=0.010

```

```

* CG 17/3/1997 MAIZE ADAPTATION CRPF=0.9 (GRASS=1.3)
PARAM SLA0=0.0035, KDF=0.6, LAICR=4., CRPF=0.9

```

```

PARAM DRDVO = 0.008, DRSH0 = 0.05, DRSM0 = 0.05

```

```

* CG 9/7/1996, PARTITIONING FOR MAIZE, VAN HEEMST 1988, CV. PIONEER
* CGF ADAPTATION: LAST PART OF STEM TO 'KOLF'
FUNCTION FLVTB =      0.,0.37,  427.,0.48,  801.,0.26,  977.,0.15, ...
                  1106.,0.00, 1210.,0.00, 1755.,0.00, 4000.,0.00
FUNCTION FSTTB =      0.,0.23,  427.,0.29,  801.,0.,  977.,0., ...
                  1106.,0., 1210.,0.00, 1755.,0.00, 4000.,0.00

```

```

FUNCTION FSOTB =      0.,0.00,  427.,0.00,  801.,0.67,  977.,0.85, ...
                    1106.,1., 1210.,1.00, 1755.,1.00, 4000.,1.00
FUNCTION FRTTB =      0.,0.40,  427.,0.23,  801.,0.07,  977.,0.00, ...
                    1106.,0.00, 1210.,0.00, 1755.,0.00, 4000.,0.00

```

\*\*\*\*\*

```

CG 10/7/1997 EMERGENCE OF MAIZE IN GASTEL AND LEENDE,
* 1994-1996, ALL EQUAL (!) ON DAY 126. FINTIM SET 'FOR THE TIME
* BEING' ON THE EXTREME VALUE 15 OCTOBER (288.)
TIMER   STTIME=126., FINTIM=288., DELT=1., PRDEL=400.

```

```

* CG 9/7/1996, FOR TWO CULTIVARS OF MAIZE (1755 PIONEER, 1620 DE KALB)
FINISH TSUM>1755.

```

```

* CG 15/12/1997, HARVEST WHEN ALMOST ALL LEAVES ARE DEAD
FINISH STOPT>1.

```

```

LAI11   = NPL*LAO

```

```

TO ALLOW AN EXTRA FINISH CONDITION WHEN LAI BECOMES SMALLER
* THAN 0.2
STOPT = REAAND(TIME-(STTIME+100.),0.2-LAI) * 10.

```

```

*CG 9/7/1996 MAIZE
SLA = SLA0 * AFGEN (SLATB, TSUM)
FUNCTION SLATB=0.,1., 825.,0.46, 2500.,0.46

```

```

*CG 15/12/1997 CALCULATION OF STRESS INCLUDED (ONLY FOR SC-QUESTION)
STRESS = (1.-TRANRF) * EMERG
TSTRSS = INTGRL(ZERO,STRESS)

```

```

CG 9/7/1996, SENESCENCE INCLUDED FOR MAIZE, BUT NOT
* DROUGHT DRIVEN SENESCENCE!!
DRDV = INSW( TSSNC, 0., DRDV0 * (AMAX1(0.,DAVTMP)))
DRSM = 0.

```

```

IF ((TSUM.LT.450.).AND.(LAI.LT.0.75)) THEN
    GLA = LAI * (EXP(RGRL * DTEFF * DELT) - 1.) / DELT

```

## B2.4 Aanpassingen voor triticale

```

Alleen aangepaste programmaregels weergegeven !!
Volledige modelversie geregistreerd onder ABPRTRI1.FST
CG 26/6/1997 Model version: JUNE 1997, PARAMETRIZATION FOR TRITICALE
*   mainly based on the fact that triticale is comparable to
winterwheat
*   for development and production. (Darwinkel, teelthandleiding
*   triticale)
*   Assumed: re-growth possible from 1 january onwards (if temperature is
high *   enough for development)

* CG 26/6/1997 FROM LINTUL-WHEAT
PARAM LUE0=3.0, LA0=5.7E-5, TBASE=0.

* CG 26/6/1997 210. AND 0.009 FROM LINTUL-WHEAT
PARAM NPL=210., DOYEM=1., RGRL=0.009

```



\* CG 26/6/1997 FROM LINTUL-WHEAT. CRPF BASED ON 'KLEIN GASTEL'  
 PARAM SLA0=0.0022, KDF=0.6, LAICR=4., CRPF=1.3

ORIGINALS FROM LINSIMP

PARAM DRDVO = 0.004, DRSH0 = 0.05, DRSM0 = 0.05

\* CG 27/6/1997 FROM LINTUL-WHEAT, ORIGINAL SET

FUNCTION FRTTB =	0.,0.50,	110.,0.50,	275.,0.34,	555.,0.12, ...
	780.,0.07,	1055.,0.03,	1160.,0.02,	1305.,0. , 2500.,0.
FUNCTION FLVTB =	0.,0.33,	110.,0.33,	275.,0.46,	555.,0.44, ...
	780.,0.14,	1055.,0. ,		2500.,0.
FUNCTION FSTTB =	0.,0.17,	110.,0.17,	275.,0.20,	555.,0.44, ...
	780.,0.79,	1055.,0.97,	1160.,0. ,	2500.,0.
FUNCTION FSOTB =	0.,0. ,			...
	1055.,0. ,	1160.,0.98,	1305.,1. ,	2500.,1.

ADAPTATION FOR RE-GROWTH FROM 1 JANUARY ONWARDS

TIMER STTIME=1., FINTIM=365., DELT=1., PRDEL=1.

\* CG 27/6/1997 2080 FROM LINTUL-WHEAT

FINISH TSUM>2080.

PRINT YEAR, WTA, WSO, WST, TRANRF, FTEST, VSM

\* ORIGINAL FROM LINTUL-WHEAT, BUT START ON 1 JANUARY !!

LAI1 = NPL\*LA0

\* CGF DROUGHT SENSITIVE DEVELOPMENT

DTEFFT = AMAX1 (0., DAVTMP-TBASE)

DTEFFS = AMAX1 (0., DAVTMP-TBASE) \* (1.-TRANRF)

DTEFF = DTEFFT + DTEFFS

\* CG 27/6/1997 STANDARD 1110 FROM LINTUL-WHEAT AND TEST 2A

TSSNC = TSUM - 1110.

DRDV = INSW( TSSNC, 0., DRDVO \* (AMAX1(0., DTEFF)))

\* CG 27/6/1997 DROUGHT-SENSITIVE DEATH RATE EXCLUDED CONFORM LINTUL-WHEAT

DRSM = 0.

\* CGF WTAC TO ACCOUNT FOR LOSS OF DEAD LEAVES

WTAC = WLVG + (0.5\*WLVD) + WST + WSO

\* ADAPTATION FOR RE-GROWTH STARTING WITH DRY SOIL (ONLY 1996)

PARAM VSMI=100.

WEATHER IYEAR = 1996

END

\* CG 330 ACCORDING TO LINTUL-WHEAT

IF ((TSUM.LT.330.).AND.(LAI.LT.0.75)) THEN

GLA = LAI \* (EXP(RGRL \* DTEFF \* DELT) - 1.) / DELT

ENDIF

## B2.5      Aanpassingen voor voederbiet

Volledige modelversie geregistreerd onder ABPRBIE1.fst

\* CG 6/12/95 TBASE FOR BEET (VAN HEEMST 1988)

\* CG 10/7/1997 GENERAL VALUE FOR LUE0 (3.0)

\* CG 16/7/1997 DOYEM CORRECTED INTO 126.,

\* RGRL ON STANDARD VALUE 0.009 FOR WHEAT

PARAM LUE0=3.0, LA0=0.007, TBASE=2.

\* CGF 6/10/1997 CORRECTION OF LA0 ORIGINAL 0.007 (VALUE FOR MAIZE),

\* HAS TO BE CHANGED INTO 0.0007, BUT IN COMBINATION WITH RGRL !!!

PARAM NPL=8., DOYEM=126., RGRL=0.009

\* CG 16/7/1997 BEET ADAPTATION CRPF=1.3 (STANDARD)

\* SLA0, KDF ACCORDING TO VAN HEEMST 1988

PARAM SLA0=0.0030, KDF=0.65, LAICR=4., CRPF=1.3

DRDV0 (0.002) ESTIMATED AS HALF THE VALUE FOR POTATO

\* DRSM0 ACTIVATED !!

\* CGF LESS DROUGHT SENSITIVE THAN POTATO, DRSM0 VALUE FROM 0.05 TO 0.03

PARAM DRDV0 = 0.004, DRSH0 = 0.05, DRSM0 = 0.03

\* CG 16/7/1997 ROUGH ESTIMATION FOR BEET (ESTIMATED FROM VAN HEEMST 1988)

FUNCTION FLVTB = 0.,0.43, 240.,0.45, 1300.,0.12, 1700.,0., 4000.,0.

FUNCTION FSTTB = 0.,0.38, 240.,0.40, 1300.,0.14, 1700.,0., 4000.,0.

FUNCTION FSOTB = 0.,0.04, 240.,0.04, 1300.,0.74, 1700.,1., 4000.,1.

FUNCTION FRTTB = 0.,0.15, 240.,0.11, 1300.,0., 1700.,0., 4000.,0.

CG 10/7/1997 EMERGENCE OF BEET IN GASTEL AND LEENDE,

\* 1994-1996, ALL EQUAL (!) ON DAY 126. FINTIM SET ON 31 OCTOBER (304.)

TIMER STTIME=126., FINTIM=304., DELT=1., PRDEL=5.

LAI1 = NPL\*LA0

\*CG 16/7/1997 ROUGH ESTIMATION FOR BEET, BASED ON VAN HEEMST

SLA = SLA0 \* AFGEN (SLATB, TSUM)

FUNCTION SLATB=0.,1., 240.,0.5, 1700.,0.25, 4000.,0.25

DTEFF = AMAX1 (0.,DAVTMP-TBASE)

\* CG 7/12/95 SWITCH BETWEEN LEAF SENESCENCE / NO LEAF SENESCENCE

\* CG 16/7/1997 GUESS FOR BEET !!

TSSNC = TSUM - 1300.

\* CGF OPTION FOR DROUGHT SENSITIVE DEATH

TSSNCD = TSUM - 240.

\* CGF TBASE EXCLUDED FOR DEATH RATE

DRDV = INSW( TSSNC, 0., DRDV0 \* (AMAX1(0.,DAVTMP)))

\* CG DRSM INCLUDED

\* CGF TSSNCD INCLUDED

DRSM = INSW( TSSNCD, 0., DRSM0) \* (1. - TRANRF)

\* CGF REMOBILIZATION FROM DYING BEET LEAVES

WLVD = INTGRL(ZERO,DLV)

WLVD = 0.5\*WLVD

\* CGF REDISTRIBUTION OF 0.5 PART OF DEAD LEAVES TO STORAGE ORGANS

```
WSOA  = INTGRL(ZERO,RWSO)
WSO   = WSOA + 0.5*WLVD
```

```
* CGF WTAG BECAUSE DEAD BEET LEAVES HALF LOST, HALF REMOBILIZED TO WSO
WTAG  = WLVG + WST + WSO
```

```
IF    ((TSUM.LT.450.).AND.(LAI.LT.0.75)) THEN
      GLA = LAI * (EXP(RGRL * DTEFF * DELT) - 1.) / DELT
ENDIF
*    at day of seedling emergence:
IF ((DOY.GE.DOYEM).AND.(LAI.EQ.0.)) GLA = LAII / DELT
*    before seedling emergence:
IF (DOY.LT.DOYEM) GLA = 0.
RETURN
END
```

## B2.6 Aanpassingen voor luzerne

Alleen aangepaste programmaregels weergegeven !!  
Volledige modelversie geregistreerd onder ABPRLUZ1.fst

Version 1 FOR LUZERNE 1 DECEMBER 1997, BASED ON REMARKS

```
*      OF DAVID VAN DER SCHANS ON VERSION '0'
*      15. RTDMAX = 0.4, 0.8 AND 1.6 M;
*      DRY MATTER PARTITIONING 50% HARVESTABLE
```

```
* CGF ORIGINAL PARAM LUE0=3.0; TBASE=2.
PARAM LUE0=3.0; TBASE=0.
```

```
*CG 21/7/1997 GUESS: LOWER THAN POTATO; CHANGED FROM 0.012 INTO 0.010
PARAM DOYEM=1.; RGRL=0.010
```

```
CG 21/7/1997 LAICR STANDARD VALUE POTATO
PARAM SLA=0.0025; KDF=0.7; LAICR=4.; CRPF0=1.3
```

```
* CG 21/7/1997 ESTIMATED GRASS VALUES
* CGF ASSUME DROUGHT SENSITIVE DEATH
PARAM DRDV0 = 0.; DRSH0 = 0.05; DRSM0 = 0.1
```

```
* CG 1/12/1997 FOR VERSION '0':
* FUNCTION FLVTB = 0.,0.25, 142.,0.25, 465.,0.25, 572.,0.25, 40000.,0.25
* FUNCTION FSTTB = 0.,0.20, 142.,0.20, 465.,0.20, 572.,0.20, 40000.,0.20
* FUNCTION FRTTB = 0.,0.55, 142.,0.55, 465.,0.55, 572.,0.55, 40000.,0.55
* CG 1/12/1997 IMPROVED PARTITONING FOR VERSION '1', OLDER LUZERNE
FUNCTION FLVTB = 0.,0.27, 142.,0.27, 465.,0.27, 572.,0.27, 40000.,0.27
FUNCTION FSTTB = 0.,0.23, 142.,0.23, 465.,0.23, 572.,0.23, 40000.,0.23
FUNCTION FRTTB = 0.,0.50, 142.,0.50, 465.,0.50, 572.,0.50, 40000.,0.50
```

```
PRINT YEAR,WTHA
```

```
* CGF TSSNCD FOR EARLIER POSSIBILITIES FOR DROUGHT SENSITIVE DEATH
TSSNCD = TSUM - 100.
DRSM = INSW( TSSNCD, 0., DRSM0) * (1. - TRANRF)
```

```
* CG 21/7/1997 DREMPL (80.) VERDEELD OVER LV EN ST
PARAM DREMPL=40.
```

```
* CG 21/7/1997 LUZERNE ALSO STEMS HARVESTED
```

```
HARVST = MIN (VRAAG,MAX (WST-DREMP,0.))
WSTHA  = INTGRL(ZERO,HARVST)
WTHA   = WLVAH + WSTHA

* CG 21/7/1997 LUZERNE ST ALSO HARVESTED
RWST   = GTW*FST - HARVST
*****
* CGF RERUN SECTION
INCON RTDI=0.4
WEATHER IYEAR=1976; ISTN=15

PARAM RTDMAX=0.8
INCON RTDI=0.8

* CGF LEENDE, CORRECT PF-CURVE
* for alternative deeper luzerne
PARAM RTDMAX = 1.6
INCON RTDI = 1.6
```

## Bijlage 3. Verklarende acroniemenlijst

Acronym	Description	Unit
AMAX1	Standard FST function: uses the biggest of two following arguments	x
AMIN1	Standard FST function: uses the smallest of two following arguments	x
AWLVG	Rate of new leaf growth (without accounting for dying leaves)	$(\text{kg ha}^{-1}) \text{ d}^{-1}$
CEVAP	Cumulative soil evaporation	kg water $\text{m}^{-2}$ soil surface (=mm)
CINT	Cumulative intercepted photosynthetically active radiation	$\text{MJ m}^{-2}$
CRPF	Factor equal to CRPF0 (see there)	x
CRPF0	Factor to calculate crop transpiration from open water transpiration	x
CTRAN	Cumulative crop transpiration	kg water $\text{m}^{-2}$ soil surface (=mm)
DAVTMP	Average daily temperature (can be less than zero)	degrees Celsius
DELT	Time step of integration	d
DLAI	Rate of reduction of leaf area (both by dying leaves and harvested leaves)	$(\text{m}^2 \text{ m}^{-2}) \text{ d}^{-1}$
DLAIO	'Pure' death rate of leaf area (exclusive harvested leaves)	$(\text{m}^2 \text{ m}^{-2}) \text{ d}^{-1}$
DLV	Rate of reduction of leaf weight (both by dying leaves and harvested leaves)	$(\text{kg ha}^{-1}) \text{ d}^{-1}$
DOY	Day number within year of simulation	d
DOYEM	FOR GRASS: start day of crop growth,	daynumber
DRDV	Death rate of LAI (due to crop-ageing)	$(\text{m}^2 \text{ m}^{-2}) \text{ d}^{-1}$
DRDVO	Basic death rate of LAI (per unit of temperature)	$((\text{m}^2 \text{ m}^{-2}) \text{ degree}^{-1} \text{ C}) \text{ d}^{-1}$
DREMPL	MINIMUM LEVEL OF STANDING CROP DRY MATTER (NEEDED FOR RE-GROWTH)	$\text{KG ha}^{-1}$
DRS	Death rate of LAI due to either shading or moisture stress	$(\text{m}^2 \text{ m}^{-2}) \text{ d}^{-1}$
DRSH	Death rate of LAI due to shading	$(\text{m}^2 \text{ m}^{-2}) \text{ d}^{-1}$
DRSHO	Basic death rate of LAI due to shading (per unit of leaf area)	$((\text{m}^2 \text{ m}^{-2}) \text{ d}^{-1}) (\text{m}^2 \text{ m}^{-2})^{-1}$
DRSM	Death rate of LAI due to moisture stress	$(\text{m}^2 \text{ m}^{-2}) \text{ d}^{-1}$
DRSMO	Basic death rate of LAI due to drought (per unit of reduction of relative transpiration)	$((\text{m}^2 \text{ m}^{-2}) \text{ d}^{-1}) (\text{mm mm}^{-1})^{-1}$
DTEFF	Average daily temperature (not below zero, and accounting for a basic temperature for development)	degree C

Acronym	Description	Unit
DTR	Daily global radiation	$\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$
EMERG	Auxiliary variable indicating crop emergence	x
EPENM	Estimated daily Penman evaporation	$\text{mm d}^{-1}$
EPERT	Regression function used to estimate EPENM from EREF	x
EREF	Potential daily reference evapotranspiration according to Makkink	$\text{mm d}^{-1}$
EVAP	Actual soil evaporation, including the effect of standing canopy and dry soil	$\text{mm d}^{-1}$
EVAP2	Actual soil evaporation of top soil in the two-layer version (not used)	$\text{mm d}^{-1}$
EVAPRO	Intermediate variable for calculation of EVAP	$\text{mm d}^{-1}$
EVAPRF	Intermediate variable for calculation of EVAP	$\text{mm d}^{-1}$
EXP	Standard FST-description for the exponential function	x
FAMST	optional factor to account for effect of drought on dry matter partitioning (generally kept at 1 = no effect)	x
FINTIM	Finish time of simulation (=day number)	d
FLV	Fraction of dry matter allocated to the leaves	x
FLVTB	Table of FLV as function of TSUM	
FLVWET	Fraction of dry matter allocated to the leaves with ample water (with FAMST=1, FLVWET=FLV)	x
FRT	Fraction of dry matter allocated to the roots	x
FRTTB	Table of FRT as function of TSUM	x
FRTWET	Like FLVWET, for roots	x
FSE	Fortran Simulation Environment	x
FST	Fraction of dry matter allocated to the stems	x
FSTTB	Table of FST as function of TSUM	x
FSTWET	Like FLVWET, for stems	x
GAMM	Constant of transpiration physics (Makkink formula)	x
GLA	In FORTRAN subroutine: growth of leaf area index	$(\text{m}^2 \text{ m}^{-2}) \text{ d}^{-1}$
GLAI	Growth rate of leaf area index	$(\text{m}^2 \text{ m}^{-2}) \text{ d}^{-1}$
GLV	Growth rate of leaf dry matter	$(\text{kg ha}^{-1}) \text{ d}^{-1}$
GTW	Growth rate of total crop dry matter	$(\text{kg ha}^{-1}) \text{ d}^{-1}$
HARV(EST)	STATUS CODE TO INDICATE IF 'VRAAG' IS ACTIVATED OR NOT, HAS TO BE ACTIVATED TOGETHER WITH THE QUANTIFICATION OF 'VRAAG'	x
HARVLA	Harvested leaf area	$(\text{m}^2 \text{ m}^{-2}) \text{ d}^{-1}$
HARVLV	Harvested leaf weight (on a date specified by VRAAGT)	$(\text{kg ha}^{-1}) \text{ d}^{-1}$

Acronym	Description	Unit
INSW	Standard FST-function. When the following argument is positive, the last argument is activated	x
INTGRL	Standard FST function to integrate rate variables	x
IYEAR	Year of simulation (INTEGER)	y
KDF	Extinction coefficient for photosynthetic active radiation	x
LA0	Initial leaf area (per plant or per stem)	m <sup>2</sup> /plant or m <sup>2</sup> /stem
LABDA	Constant of transpiration physics (Makkink formula)	x
LAI	Actual Leaf area index	m <sup>2</sup> leaf m <sup>-2</sup> soil surface
LAICR	Leaf area index beyond which leaves die due to self-shading	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>
LAIHA	Cumulated harvested leaf area	m <sup>2</sup> leaf m <sup>-2</sup> soil surface
LAII	Initial leaf area index	unit: m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>
LIMIT	Standard FST-function to keep a variable within a described range	x
LUE	Light use efficiency, including effect of temperature	g MJ <sup>-1</sup>
LUE0	Standard light use efficiency	g MJ <sup>-1</sup>
LUECUM	Average LUE of cumulated dry matter	g MJ <sup>-1</sup>
LUETT	Table of LUE as function of DTEFF	x
NOTNUL	Standard FST-function to avoid floating divide	x
NPL	Number of plants per m <sup>2</sup>	# m <sup>-2</sup>
PARINT	Intercepted photosynthetically active radiation	(MJ m <sup>-2</sup> ) d <sup>-1</sup>
PERC	Percolation of water below the rooted zone	mm d <sup>-1</sup>
PERC2	Percolation of water from top soil to second layer (only active in two-layer version)	mm d <sup>-1</sup>
PF	Logarithmic value of suction tension of the soil	LOG (cm water pressure)
POT	Optional code to switch from potential production to water limited production. HAS TO BE ZERO FOR simulation under water limited conditions	x
PROP	Extinction coefficient for evaporation in top soil layer.NB: VERSION WITH TOP LAYER IS NOT USED AT THE MOMENT	x
PTRAN	Potential crop transpiration	mm d <sup>-1</sup>
RAIN	Daily amount of rainfall	mm d <sup>-1</sup>
RDD	Daily global radiation	(J m <sup>-2</sup> ) d <sup>-1</sup>
RDFSMT	Table of top soil evaporation as a function of VSM2 (only in two-layer version)	x

Acronym	Description	Unit
RGRL	Relative growth rate of leaves, C d	(m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> ) degree <sup>-1</sup>
RLAI	Growth rate of LAI	(m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> ) d <sup>-1</sup>
RSM2	Netto daily water movement of top soil (only in two-layer version)	mm d <sup>-1</sup>
RSMRTZ	Netto daily water movement of the rooted zone	mm d <sup>-1</sup>
RTD	Actual rooted depth	m
RTDGR	Actual rooty growth rate	m d <sup>-1</sup>
RTDGRo	Potential root growth rate	m d <sup>-1</sup>
RTDI	Initial rooted depth	m
RTDMAX	Maximum rooted depth	m
RTSUM	Daily increase of TSUM	degree C d d <sup>-1</sup>
RWLVG	Net rate of increase weight of green leaves	(kg ha <sup>-1</sup> ) d <sup>-1</sup>
RWRT	Rate of increase weight of roots	(kg ha <sup>-1</sup> ) d <sup>-1</sup>
RWST	Rate of increase weight of stems	(kg ha <sup>-1</sup> ) d <sup>-1</sup>
SGLA	FORTTRAN-subroutine to calculate GLA(I)	x
SLA	Specific leaf area	ha kg <sup>-1</sup>
SLOPE	Change of saturation vapour pressure per degree C	mbar degree <sup>-1</sup> C
SM2	Soil moisture of top layer, (VERSION WITH TOP LAYER IS NOT activated in the present model versions)	kg water m <sup>-2</sup> soil surface
SM2I	Initial moisture of top layer, (version with top layer is not activated in the present model versions)	kg water m <sup>-2</sup> soil surface (= mm)
SMRTZ	Actual soil moisture of rooted zone	kg water m <sup>-2</sup> soil surface (= mm)
SMRTZI	Initial soil moisture of rooted zone	kg water m <sup>-2</sup> soil surface (= mm)
SMS	'suction tension' of actual soil moisture content	cm water pressure (=mbar)
SMSCR	Critical soil moisture suction for transpiration reduction due to drought	cm water pressure (=mbar)
SMSCRH	Critical soil moisture suction for transpiration reduction due to drought, at high evaporative demand from the air	cm water pressure (=mbar)
SMSCRL	Critical soil moisture suction for transpiration reduction due to drought, at low evaporative demand from the air	cm water pressure (=mbar)
SMSRED	Reduction factor for water uptake by the crop due to water shortage	x
SMST	Table of soil moisture suction as function of VSMR	x
SMSWP	Soil moisture suction at wilting point	mbar



Acronym	Description	Unit
STTIME	Start time of simulation (=day number)	d
SVP	Saturation vapour pressure	mbar
TBASE	Base temperature for crop development	degrees C
TC	Actual transpiration coefficient (based on harvestable dry matter)	l water kg <sup>-1</sup> dry matter
TCCUM	Cumulated TC over the growing season (based on total crop production)	l water kg <sup>-1</sup> dry matter
TCCUMO	Cumulated TC over the growing season (based on harvestable crop production)	l water kg <sup>-1</sup> dry matter
TCWLVG	Actual transpiration coefficient (based on production of new leaves, without taking into account dying leaves)	l water kg <sup>-1</sup> dry matter
TIME	Time of simulation	d
TMAX	Maximum daily temperature	degree C
TMIN	Minimum daily temperature	degree C
TMMN	Minimum daily temperature (from weather data base) (equals TMIN)	degree C
TMMX	Maximum daily temperature (from weather data base) (equals TMAX)	degree C
TRAN	Actual crop transpiration	mm
TRANRF	Reduction factor for transpiration due to drought	x
TSSNC	TSUM above which senescence of leaves takes place	degree C
TSUM	Temperature sum (above zero)	degree C d
TSUMC	Temperature sum (standard) (NOT USED)	degree C d
TWOLAY	Optional code to choose between one-layer and two-layer model version	x
VP	Early morning vapour pressure	kPa
VRAAG	(DAILY) AMOUNT OF HARVESTED GRASS, EITHER BY GRAZING (DURING A CERTAIN PERIOD) OR BY HARVESTING (ON A SPECIFIC DAY). VRAAG can be defined internally (in the model) or externally, for instance by a grassland use model	kg ha <sup>-1</sup>
VRAAGT	STATUS CODE TO INDICATE IF 'VRAAG' IS ACTIVATED OR NOT, HAS TO BE ACTIVATED TOGETHER WITH THE QUANTIFICATION OF 'VRAAG'	x
VSM	Volumetric soil water content	kg water m <sup>-3</sup> soil
VSM2	Volumetric soil water content of top soil (only in two-layer version)	kg water m <sup>-3</sup> soil
VSMAD	Volumetric soil moisture of air-dry soil	kg water m <sup>-3</sup> soil
VSMFC	Volumetric soil moisture of soil at field capacity	kg water m <sup>-3</sup> soil

Acronym	Description	Unit
VSMI	Initial volumetric soil moisture content	kg water m <sup>-3</sup> soil
VSMR	Volumetric soil water content, corrected for small negative values	kg water m <sup>-3</sup> soil
WEWLVG	Actual water use efficiency (based on production of new leaves, without taking into account dying leaves) and actual transpiration	kg dry matter l <sup>-1</sup> water used
WLV	Actual weight of green and dead leaves	kg dry matter ha <sup>-1</sup>
WLVD	Actual dead leaf weight of standing crop	kg dry matter ha <sup>-1</sup>
WLVG	ACTUAL HARVESTABLE (GREEN LEAF) WEIGHT OF STANDING CROP	kg dry matter ha <sup>-1</sup>
WLVHA	Cumulated HARVLV over the season	kg dry matter ha <sup>-1</sup>
WRT	Dry weight of roots	kg dry matter ha <sup>-1</sup>
WSH	Dry weight of green leaves plus 'stoppel'	kg dry matter ha <sup>-1</sup>
WSO	Dry weight of 'Storage organs' (NOT USED FOR GRASS)	kg dry matter ha <sup>-1</sup>
WST	Dry weight of not harvestable above-ground parts ('stoppel')	kg dry matter ha <sup>-1</sup>
WTA	Dry weight of total above-ground crop parts (including dead leaves)	kg dry matter ha <sup>-1</sup>
WTT	Total dry weight (including green and dead parts and roots)	kg dry matter ha <sup>-1</sup>
WUECUM	Average water use efficiency (based on WTT and CTRAN)	kg dry matter l <sup>-1</sup> water transpired by the crop.
YEAR	Year of simulation	y
ZERO	Initial value in integrations which have to start at 0 (=zero)	x